



UNIVERSIDAD DE CUENCA
Facultad de Arquitectura y Urbanismo

Tesis previa a la obtención del título de Arquitecto.

Estudio de variables geométricas y disposición de elementos estructurales en muros de bahareque

Miguel Angel Baculima Estrella (Cl. 010410072-2) - Luis Fernando Marín Lazo (Cl. 010515509-7)

DIRECTOR:

Ing. Hernán Alfredo García Erazo (Cl. 010211665-4)

Cuenca - 2019

Resumen

La construcción en tierra ha sido utilizada desde los primeros asentamientos humanos, estas técnicas se han mantenido y han adquirido un alto interés por su bajo impacto ambiental, una de estas técnicas es la de bahareque la cual consta de un sistema de pared portante compuesto por una estructura aporticada de bambu o madera, a las cuales se amarra varas horizontales de caña o madera, conformando una cámara que es rellena da con tierra cruda que finalmente es recubierta con revoque de tierra arcillosa y guano.

El sistema de bahareque llamado también quincha, al estar conformado por pórticos de madera, presenta un alto grado de ductilidad, lo que lo hace resistente a los impactos de los sismos, además de ser liviano en comparación a otros sistemas en tierra cruda, presenta un alto interés sismo resistente, como ecológicamente sustentable.

El sistema de bahareque tradicional presenta diversas variables, dos de ellas serán implementadas en esta investigación. La primera que corresponde a la geometría de la estructura en el cual se varía la separación de los parantes, planteando 4 variables diferentes y la segunda correspondiente a la disposición del carrizo en el entramado, de igual manera se propuso 4 variaciones, las cuales se sometieron a pruebas de compresión axial y diagonal.

Se analizaron los resultados de los ensayos para cada variable, esto a su vez fue contrastado con aspectos constructivos y de uso de recursos, para así tener claro como las variables propuestas pueden influir en la construcción de muros en bahareque.

Palabras clave: bahareque, quincha, ensayo mecánico, dúctil, sismo-resistente.

Abstract

Building with earth has existed from the beginning of mankind. These techniques have continued through the years and have become attractive due to its low environmental impact. One of these techniques is known as bahareque, which consists of a load-bearing wall system with a built-in frame made out of wood or bamboo. The frame contains wood or cane sticks tied from side to side. This forms a shape which is filled with raw-earth and finally it's covered with clay and manure.

The bahareque system, also known as quincha, when used as construction frames shows high ductility properties. This property makes it resistant to earthquakes due to its lightweight compared to other systems with raw-earth. This solution is sustainable ecologically and it is attractive because of its resistance to earthquakes.

The traditional bahareque system has several variables, two of which will be implemented in this research. The first corresponds to the structure that has to do with the separation of studs in the load-bearing walls, proposing 4 different variables in this work and the second one depends on the available reed in the split-bamboo lath which also proposes 4 variables. In the lab, 28 load bearing walls were built to scale to test axial compression. Another 28 load bearing walls were built for testing diagonal compression.

The results of the tests were analyzed in depth for each variable. At the same time, it was compared with different variables such as: building properties, amount of construction material used, weight, deformation, mechanical resistance. This allows us to determine an absolute grade for each proposed variable, with properties that could influence in the construction of bahareque walls.

Key words: bahareque, quincha, tests mechanical, ductil, earthquake-resistant.

CAPÍTULO 1. GENERALIDADES

	1.1 SISTEMAS CONSTRUCTIVOS EN TIERRA	06
1.1.1 Antecedentes.....		06
1.1.2 Definiciones.....		07
1.1.3 Técnicas y tecnologías.....		08
1.1.4 La tierra como recurso sostenible.....		11
1.1.5 Arquitectura de tierra en el mundo.....		13
	1.2 SISTEMA CONSTRUCTIVO EN BAHAREQUE	16
1.2.1 Definición.....		16
1.2.2 Tipos de bahareque.....		17
	1.3 PROCESO DE PRODUCCIÓN EN BAHAREQUE	20
1.3.1 Materiales usados.....		20
1.3.2 Mano de obra.....		21
1.3.3 Proceso constructivo de bahareque		21
	1.4 VENTAJAS DEL SISTEMA EN BAHAREQUE	24
1.4.1 Características Térmicas.....		24
1.4.2 Características Acústicas.....		24
1.4.3 Características sismo-resistentes.....		25
	1.5 PATOLOGÍAS DEL SISTEMA EN BAHAREQUE	26
1.5.1 Patologías Físicas.....		26
1.5.2 Patologías Biológicas.....		26
1.5.3 Patologías Mecánicas.....		26
	1.6 NORMAS DE CONSTRUCCIÓN DE BAHAREQUE	28

CAPÍTULO 2. FASE EXPERIMENTAL

	2.1 MATERIALES QUE CONFORMAN LA CONSTRUCCIÓN DE PROTOTIPOS EN BAHAREQUE	32
2.1.1 Madera.....		32
2.1.2 Tierra.....		32
2.1.3 Caña.....		33
2.1.5 Relleno.....		33
2.1.6 Revoque.....		33
	2.2 PRUEBAS DE MATERIALES A USAR	34
2.2.1 Pruebas empíricas o de campo.....		34
2.2.2 Pruebas o ensayos de laboratorio.....		37

Índice

2.3 DETERMINACIÓN DEL MODELO A ESCALA DE PROTOTIPOS EN BAHAREQUE	44
2.3.1 Selección de escala.....	44
2.3.2 Variación en materialidad y medidas en la escala 1:4.....	44
2.4 PROPUESTAS DE VARIABLES GEOMÉTRICAS Y DISPOSICIÓN DE ELEMENTOS	48
2.4.1 Propuestas variable de la estructura.....	51
2.4.2 Propuestas variable en disposición del carrizo	57
2.5 PROCESO CONSTRUCTIVO DE ESPECÍMENES EN BAHAREQUE	62
2.5.1 Estructura.....	64
2.5.2 Enlatado.....	65
2.5.3 Relleno.....	66
2.5.4 Empañete.....	67
2.6 PRUEBAS MECÁNICAS DE ESPECÍMENES EN BAHAREQUE	68
2.6.1 Prueba a compresión axial.....	69
2.6.2 Prueba a compresión diagonal.....	70
2.6.3 Fórmulas Utilizadas.....	71
CAPÍTULO 3. ANÁLISIS Y COMPARACIÓN DE RESULTADOS	
3.1 RESULTADOS EN PRUEBAS DE COMPRESIÓN AXIAL	74
3.1.1 Análisis de gráficas esfuerzo deformación.....	74
3.1.2 Análisis de fisuras en especímenes.....	78
3.1.3 Análisis y comparación de esfuerzo máximo y deformación máxima.....	82
3.2 RESULTADOS EN PRUEBAS DE COMPRESIÓN DIAGONAL	84
3.2.1 Análisis de gráficas esfuerzo deformación.....	84
3.2.2 Análisis de fisuras en especímenes.....	88
3.2.3 Análisis y comparación de esfuerzo máximo y deformación máxima.....	92
3.3 METODOLOGÍA PARA LA VALORACIÓN DE RESULTADOS	94
3.4 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	96
3.4.1 Conclusiones.....	96
3.4.2 Recomendaciones para prototipo a escala.....	98
3.4.3 Lineamientos para la construcción de muros de bahareque a escala.....	99
3.4.4 Líneas a investigar.....	101
BIBLIOGRAFÍA.....	102
ANEXOS.....	106

IMAGENES

Img 01. Almacenes templo de Ramse II, Gourn, Egipto, Minke(2005).....	07
Img 02. Ciudad levantada en tierra, Shibam, Yemen, Minke(2005).....	07
Img 03. Compactación de muro de tapial, Minke (2001).....	09
Img 04. Fabricación del adobe, Yuste (2016).....	10
Img 05. Fabricación de bahareque, Henneberg (2012).....	10
Img 06. Fabricación de bahareque, Colectivo bma (2015).....	10
Img 07. Muro de bahareque sin recubrimiento, http://tectonicablog.com	11
Img 08. Extracción y preparación de tierra, https://sites.google.com	12
Img 09. Preparación de bloques de adobe, https://commons.wikimedia.org	12
Img 10. Shibam, Yemen, http://adenalgd.net	13
Img 11. Kashbah, Marruecos, http://adenalgd.net	13
Img 12. Residencia Salvatierra en Francia, Gatti(2012).....	14
Img 13. Oficinas Gugler, Australia, http://terra-award.org	14
Img 14. Bodega en Robles, Chile, https://www.archdaily.pe	14
Img 15. Arquitectura de tierra en Cuenca, Cuenca(2012).....	15
Img 16. Residencia Salvatierra en Francia, Gatti(2012).....	15
Img 17. Bahareque de tierra, Maldonado(2017).....	18
Img 18. Entramado y relleno de bahareque, Manolo Salgado.....	23
Img 19. Empañetado, Manolo Salgado.....	23
Img 20. Vivienda de bahareque afectada por un sismo en Guatemala, Minke (2001).....	25
Img 21. Materiales para construcción de prototipos, Propia.....	33
Img 22. Material de tierra para ensayos, Propia.....	35
Img 23. Disgregación de material, Propia.....	35
Img 24. Ensayo lavado de manos, Propia.....	35
Img 25. Ensayo de corte o brillo, Propia.....	35
Img 26. Ensayo de sedimentación, Propia.....	35
Img 27. Ensayo caída de la bola, Propia.....	37
Img 28 Ensayo de la pastilla, Propia.....	37
Img 29. Ensayo de la cinta, Propia.....	37
Img 30. Ensayo del cuarteo, Propia.....	38
Img 31. Ensayo de lavado, Propia.....	38
Img 32. Ensayo de granulometría, Propia.....	39
Img 33. Ensayo de granulometría, Propia.....	39
Img 34. Material para límites de Atterberg, Propia.....	40
Img 35. Ensayo límite líquido, Propia.....	40
Img 36. Ensayo límite plástico, Propia.....	41
Img 37. Secado de muestras en horno, Propia.....	41
Img 38. Equipo de medición para humedad, Propia.....	42
Img 39. Ensayo de humedad en madera, Propia.....	42
Img 40. Ensayo de humedad en madera, Propia.....	42

Img 41. Tipo A1-B1, Propia.....	49
Img 42. Tipo A2 , Propia.....	49
Img 43. Tipo A3 , Propia.....	49
Img 44. Tipo A4 , Propia.....	49
Img 45. Tipo B2 , Propia.....	49
Img 46. Tipo B3, Propia.....	49
Img 47. Tipo B4 , Propia.....	49
Img 48. Grietas y fallas compresión axial, serie A, Propia.....	78
Img 49. Grietas y fallas compresión axial, serie B, Propia.....	78
Img 50. Grietas y fallas compresión axial, serie C, Propia.....	79
Img 51. Grietas y fallas compresión axial, serie H, Propia.....	79
Img 52. Grietas y fallas compresión axial, serie D, Propia.....	80
Img 53. Grietas y fallas compresión axial, serie X, Propia.....	80
Img 54. Grietas y fallas compresión axial, serie V, Propia.....	81
Img 55. Grietas y fallas compresión axial, serie H, Propia.....	81
Img 56. Grietas y fallas compresión diagonal, serie A, Propia.....	88
Img 57. Grietas y fallas compresión diagonal, serie B, Propia.....	88
Img 58. Grietas y fallas compresión diagonal, serie C, Propia.....	89
Img 59. Grietas y fallas compresión diagonal, serie H, Propia.....	89
Img 60. Grietas y fallas compresión diagonal, serie D, Propia.....	90
Img 61. Grietas y fallas compresión diagonal, serie X, Propia.....	90
Img 62. Grietas y fallas compresión diagonal, serie V, Propia.....	91
Img 63. Grietas y fallas compresión diagonal, serie H, Propia.....	91
Img 64. Muro de bahareque, Nulfi, Cuenca, Propia.....	98
Img 65. Muro de bahareque a escala, Propia.....	98
Img 66. Muro de bahareque a escala con y sin relleno, Propia.....	99
Img 67. Empañetado de muro de bahareque a escala, Propia.....	99
Img 68. Producción de elementos estructurales en serie, Propia.....	100
Img 69. Producción de muro de bahareque a escala en serie, Propia.....	100
Img 70. Unión d elementos por tarugos simulando caja espiga, Propia.....	100
Img 71. Procesos de secado de muros en bahareque a escala, Propia.....	100
Img 72. Muro de bahareque a escala, Propia.....	101

GRAFICOS

Grf 01. El material de tierra, Carazas (2002).....	08
Grf 02. Tipo de bahareque por tipo de recubrimiento, AIS(2002).....	17
Grf 03. Tipos de bahareques en tierra, Carazas (2002).....	19
Grf 04. Plomada de columnas, cimentación y viga collar Carazas (2002).....	21
Grf 05. Zonas sísmicas , IMG (2011).....	25
Grf 06. Detalles constructivos Norma NEC vivienda.....	29
Grf 07. Detalle cañas de bajareque Norma NEC vivienda.....	29
Grf 08 esquema de sección propuesta en muros a escala, Propia.....	45
Grf 09 Detalle unión parantes y carrizo en muros a escala, Propia.....	45
Grf 10. Propuestas variable de la estructura, Propia.....	50
Grf 11. Composición espécimen H, Propia.....	52
Grf 12. Dimensiones espécimen H, Propia.....	52
Grf 13. Composición espécimen C, Propia.....	53
Grf 14. Dimensiones espécimen C, Propia.....	53
Grf 15. Composición espécimen B, Propia.....	54
Grf 16. Dimensiones espécimen B, Propia.....	54
Grf 17. Composición espécimen A, Propia.....	55
Grf 18. Dimensiones espécimen A, Propia.....	55
Grf 19. Propuestas variable en disposición del carrizo, Propia.....	56
Grf 20. Composición espécimen V, Propia.....	58
Grf 21. Dimensiones espécimen V, Propia.....	58
Grf 22. Composición espécimen D, Propia.....	59
Grf 23. Dimensiones espécimen D, Propia.....	59
Grf 24. Composición espécimen X, Propia.....	60
Grf 25. Dimensiones espécimen X, Propia.....	60
Grf 26. Detalles constructivos de uniones, Propia.....	63
Grf 27. Armado de la estructura, Propia.....	64
Grf 28. Enlatado de carrizo, Propia.....	65
Grf 29. Relleno con material de tierra y paja, Propia.....	66
Grf 30. Empañetado con material de tierra y guano, Propia.....	67
Grf 31. Esquema ensayo resistencia de espécimen a compresión axial, Propia.....	68
Grf 32. Esquema ensayo resistencia de espécimen a compresión diagonal, Propia.....	70
Grf 33. Esquema Nomenclatura de medidas en muro de bahareque, Propia.....	71
Grf 34. Curva esfuerzo deformación compresión axial, serie A, Propia.....	76
Grf 35. Curva esfuerzo deformación compresión axial, serie B, Propia.....	76
Grf 36. Curva esfuerzo deformación compresión axial, serie C, Propia.....	76
Grf 37. Curva esfuerzo deformación compresión axial, serie H, Propia.....	76
Grf 38. Curva esfuerzo deformación compresión axial, serie D, Propia.....	77
Grf 39. Curva esfuerzo deformación compresión axial, serie V, Propia.....	77
Grf 40. Curva esfuerzo deformación compresión axial, serie X, Propia.....	77

Grf 41. Curva esfuerzo deformación compresión axial, serie H, Propia.....	77
Grf 42. Esfuerzo máximo compresión axial, variable de la estructura, Propia.....	82
Grf 43. Deformación máxima compresión axial, variable de la estructura, Propia.....	82
Grf 44. Esfuerzo máximo compresión axial, variable del carrizo, Propia.....	83
Grf 45. Deformación máximo compresión axial, variable del carrizo, Propia.....	83
Grf 46. Curva esfuerzo deformación compresión diagonal, serie A, Propia.....	85
Grf 47. Curva esfuerzo deformación compresión diagonal, serie B, Propia.....	85
Grf 48. Curva esfuerzo deformación compresión diagonal, serie C, Propia.....	85
Grf 49. Curva esfuerzo deformación compresión diagonal, serie H, Propia.....	85
Grf 50. Curva esfuerzo deformación compresión diagonal, serie D, Propia.....	86
Grf 51. Curva esfuerzo deformación compresión diagonal, serie X, Propia.....	86
Grf 52. Curva esfuerzo deformación compresión diagonal, serie V, Propia.....	86
Grf 53. Curva esfuerzo deformación serie compresión diagonal, H, Propia.....	86
Grf 54. Esfuerzo máximo compresión diagonal, variable de la estructura, Propia.....	92
Grf 55. Deformación máxima compresión diagonal, variable de la estructura, Propia.....	92
Grf 56. Esfuerzo máximo compresión diagonal, variable del carrizo, Propia.....	93
Grf 57. Deformación máxima compresión diagonal, variable del carrizo, Propia.....	93
Grf 58. Análisis comparativo de resultados en muros de bahareque a escala, Propia.....	95
Grf 59. Muro que presenta mejores resultados geoméricamente, Propia.....	96
Grf 60. Comparación de ductilidad con respecto al adobe, Propia.....	97

TABLAS

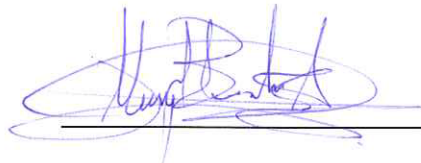
Tab 01. Tipologías de las lesiones, síntomas y agentes causantes, Pineda (2017).....	27
Tab 02. Escalamiento de elementos para prototipos en bahareque, Propia.....	46
Tab 03. Propuestas variable de la estructura, Propia.....	51
Tab 04. Propuestas variable en disposición del carrizo, Propia.....	57
Tab 05. Resumen de resultados compresión axial, variable de la estructura, Propia.....	82
Tab 06. Resumen de resultados compresión axial, variable del carrizo, Propia.....	83
Tab 07. Resumen de resultados compresión diagonal, variable de la estructura, Propia.....	92
Tab 08. Resumen de resultados compresión diagonal, variable del carrizo, Propia.....	93

Cláusula de licencia y autorización para publicación en el Repositorio Institucional

Yo Miguel Angel Baculima Estrella en calidad de autor y titular de los derechos morales y patrimoniales del trabajo de titulación **“Estudio de variables geométricas y disposición de elementos estructurales en muros de bahareque”**, de conformidad con el Art. 114 del CÓDIGO ORGÁNICO DE LA ECONOMÍA SOCIAL DE LOS CONOCIMIENTOS, CREATIVIDAD E INNOVACIÓN reconozco a favor de la Universidad de Cuenca una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos.

Asimismo, autorizo a la Universidad de Cuenca para que realice la publicación de este trabajo de titulación en el repositorio institucional, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Cuenca, 08 de enero 2019



Miguel Angel Baculima Estrella

C.I: 0104100722

Cláusula de Propiedad Intelectual

Miguel Angel Baculima Estrella, autor del trabajo de titulación **“Estudio de variables geométricas y disposición de elementos estructurales en muros de bahareque”**, certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación son de exclusiva responsabilidad de su autor.

Cuenca, 08 de enero 2019



Miguel Angel Baculima Estrella

C.I: 0104100722

Cláusula de licencia y autorización para publicación en el Repositorio Institucional

Yo Luis Fernando Marín Lazo en calidad de autor y titular de los derechos morales y patrimoniales del trabajo de titulación **“Estudio de variables geométricas y disposición de elementos estructurales en muros de bahareque”**, de conformidad con el Art. 114 del CÓDIGO ORGÁNICO DE LA ECONOMÍA SOCIAL DE LOS CONOCIMIENTOS, CREATIVIDAD E INNOVACIÓN reconozco a favor de la Universidad de Cuenca una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos.

Asimismo, autorizo a la Universidad de Cuenca para que realice la publicación de este trabajo de titulación en el repositorio institucional, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Cuenca, 08 de enero 2019



Luis Fernando Marín Lazo

C.I: 0105155097

Cláusula de Propiedad Intelectual

Luis Fernando Marín Lazo, autor del trabajo de titulación **“Estudio de variables geométricas y disposición de elementos estructurales en muros de bahareque”**, certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación son de exclusiva responsabilidad de su autor.

Cuenca, 08 de enero 2019



Luis Fernando Marín Lazo

C.I: 0105155097

Agradecimientos

Ing. Hernán García Erazo
Ing. Xavier Cárdenas Haro
Arq. Edison Catillo Carchipulla
Arq. Jonathan Aguirre
Arq. Jaime Guerra Galán
Arq. Patricio Hidalgo

Agradecemos la ayuda brindada a las personas que nos guiaron y acompañaron en el camino para alcanzar esta meta, a nuestros familiares por el apoyo proporcionado en todo el trascurso de nuestra formación profesional.



Introducción

Los sistemas constructivos en tierra cruda han sido desarrollados a nivel local de manera autóctona, entre los más conocidos el adobe, tapial y el bahareque. Este tipo de sistema ha sido desplazado por técnicas de construcción modernas donde priman el hormigón y el acero como principales materiales, los que se obtienen por medio de la explotación de recursos naturales, como la minería, afectando al medio ambiente, al contrario de los sistemas en tierra cruda que no tienen mayor impacto ambiental. A pesar de sus grandes bondades existe este rechazo al sistema constructivo en tierra cruda el cual se da por el desconocimiento del proceso constructivo y falta de estudios en sus capacidades mecánicas, lo que crea cierta incertidumbre en las capacidades y bondades del sistema constructivo.

El presente trabajo de titulación tiene como objetivo aportar en el estudio de las capacidades mecánicas y comportamiento ante cargas axiales y diagonales de una sección de muro de bahareque a escala, estableciendo una comparación de sus capacidades mecánicas en diferentes variaciones de la estructura, por medio de los resultados obtenidos en las pruebas, los cuales nos permitan determinar las características que presentan cada variación, analizando diferentes factores, permitiéndonos crear lineamientos y recomendaciones a base de la experiencia y resultados de los mismos.

Para ello se utiliza la siguiente metodología que consta de diferentes fases: la primera fase consiste en una recopilación de información actual tanto histórica, ambientales, características constructivas y propiedades sobre los sistemas constructivos en tierra, haciendo énfasis en el bahareque, dotándonos del suficiente conocimiento sobre este sistema constructivo para delimitar el alcance del estudio a realizarse. Seguido una siguiente fase se expone las dimensiones y selección de la escala de los especímenes a ensayarse, la descripción de cada etapa de construcción y los ensayos previos realizados a los materiales utilizados en la construcción de los muros.

Para la selección de las variables en los muros se realizó la división de 2 conjuntos de variaciones en los muros de bahareque, el primero consta de la variación geométrica de la estructura principal, variando la separación entre parantes del muro. En el segundo conjunto se realiza la variación de la disposición del carrizo, para cada conjunto se realizaron la elección de 4 variaciones, las cuales fueron sometidas a 2 tipos de pruebas en el laboratorio por medio de la máquina universal de ensayos: la compresión axial y compresión diagonal.

Finalmente, una tercera fase en la cual se analizan los diferentes datos obtenidos de las pruebas realizadas, haciendo comparaciones en los dos tipos de variaciones, tanto para la variación geométrica de la estructura como su variación en la disposición del carrizo, lo que da como resultado una serie de recomendaciones sobre su construcción y selección de las mejores características obtenidas para cada variable.



Objetivo General

Estudiar el comportamiento de muros de bahareque variando la disposición de los elementos estructurales que lo conforman.

Objetivo Específico

- Estudio e identificación de los componentes en el sistema constructivo de bahareque.
- Proponer diferentes diseños de muros de bahareque por medio de variaciones geométricas y disposición de los elementos estructurales que lo conforman.
- Comparar y analizar las características mecánicas entre las diferentes diseños de muros de bahareque.
- Recomendar que tipo de estructura propuesta tiene el mejor comportamiento, dependiendo de sus características mecánicas.
- Establecer lineamientos en la construcción de muros de bahareque a partir de los datos obtenidos.

INTRODUCCIÓN

En el presente capítulo se dará una recopilación de conceptos y definiciones tanto en términos constructivos, históricos y ambientales de los sistemas constructivos en tierra cruda, haciendo énfasis en la técnica de bahareque, también conocido como quinchá.



CAPITULO 01

GENERALIDADES



1.1 SISTEMAS CONSTRUCTIVOS EN TIERRA

1.1.1 Antecedentes

La tierra como material para la construcción fue utilizada desde los primeros asentamientos humanos, en un principio se utilizó la tierra para unir y compactar estructuras de piedra, pero con el tiempo y la experiencia, descubrieron que al mezclar la tierra con fibras naturales la técnica adquiere mayor resistencia.

Las civilizaciones, a lo largo de la historia dan fe del uso e importancia que brinda la tierra para el desarrollo de sus culturas (Img. 01). Por medio de diferentes técnicas constructivas se lograron edificar monumentos, como templos, palacios, mezquitas, pirámides y ciudades enteras que prevalecen hasta el día de hoy (Img. 02), a pesar de los fenómenos naturales y el paso del tiempo.

La edificación con tierra se ha desarrollado básicamente a partir de la transmisión de conocimientos de origen popular que, como todo saber tradicional, consiste en la

manifestación de respuestas lógicas a necesidades locales, así como a las condicionantes y recursos que ofrece el medio natural (Guerrero, 2007, p.182).

La arquitectura en tierra ha sido considerada como símbolo de pobreza y retraso cultural. Sin embargo en las últimas décadas se ha recopilado gran información, diversas investigaciones parten con el ideal de encontrar soluciones que permitan brindar calidad de vida llevando a cabo un medio construido económico y ecológicamente sustentable.

La construcción en tierra, en la actualidad, esta presente en regiones de Medio Oriente, África y América Latina, para solventar la necesidad de vivienda y la falta de recursos, mientras que en Europa la importancia va ligada al objetivo de reciclar materiales, disminuir el gasto energético y de tener conciencia ambiental.





Img 01. Almacenes templo de Ramse II, Gourn, Egipto
Minke(2005)



Img 02. Ciudad levantada en tierra, Shibam, Yemen
Minke(2005)

1.1.2 Definiciones

La Real Academia Española, define como construir a la acción de realizar algo utilizando los elementos adecuados, así también define sistema, al conjunto de reglas o principios que relacionadas entre si contribuyen a un determinado objeto.

Podemos entender como sistema constructivo, al conjunto de materiales y componentes, combinados por determinada lógica, que por medio de alguna técnica, permite ejecutar ciertas obras necesarias para construir una edificación (Perea, 2012), conformando así un objeto arquitectónico.

La arquitectura es el arte de proyectar y construir edificios pero al referirnos en esta investigación a la arquitectura en tierra es prescindible definir a que se refiere, según Bardou (1981) la arquitectura en tierra, es el conjunto de edificios contruidos con tierra sin cocer, excluyendo a la vez la arquitectura de ladrillo (tierra cocida).

Combinando los conceptos podemos decir que la arquitectura en tierra es el arte de proyectar y construir edificaciones en tierra cruda.

También es importante aclarar que es una estructura, puesto que la propuesta se basa en el analisis a la estructura del bahareque, según la Real Academia es la disposición y orden de las partes importante de una edificación; por otra parte Perea (2012) define la estructura como el conjunto de elementos resistentes, convenientemente vinculados entre si, que accionan y reaccionan bajo los efectos de las cargas, con la finalidad de resistir y transmitir las cargas de una edificación.

Así mismo los elementos estructurales son cada una de las partes diferenciadas pero vinculadas en que puede ser dividida una estructura con respecto a su diseño.

1.1.3 Técnicas y tecnologías

1.1.3.1 Materias Primas

Al hablar de construcciones en tierra nos referimos a todas las estructuras que son compuestas por materiales extruidos de suelo natural, y que por medio de procedimientos de humidificación, transformación y secado al sol, posibilitan la edificación de elementos constructivos que posteriormente constituirán un espacio habitable.

Para que esta técnica sea posible, la capacidad de las partículas que componen la tierra, serán alteradas mediante mecanismos, permitiendo modificar la forma del compuesto y sus características, otorgándole solidez y estabilidad fisicoquímica.

1.1.3.2 La tierra adecuada

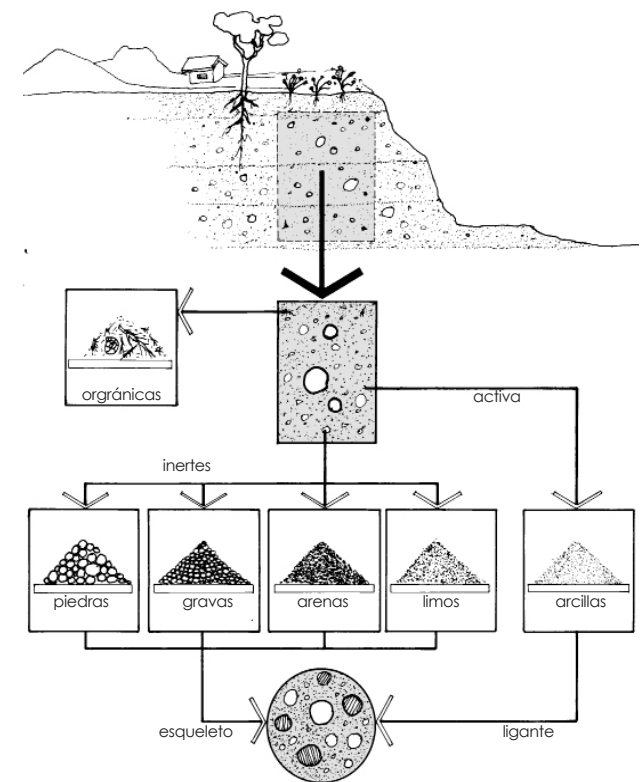
El material para la construcción en tierra cruda, es extraído del terreno a la profundidad adecuada, pues no todas las capas que conforman la corteza terrestre son apropiadas para ser utilizadas como materia prima para la construcción.

La capa más profunda que corresponde a la roca madre presenta el inconveniente de ser inerte por lo que no presenta adherencia para conformar estructuras.

La capa intermedia que se encuentra entre los 50 cm y 2 m de profundidad, es la más adecuada para la construcción, al poseer una variedad granulométrica que mantiene estables los suelos al modificar su humedad.

La capa más externa conocida como suelo orgánico, debe ser evitada, puesto que al estar mezclado con restos de origen animal y vegetal, su comportamiento no puede ser previsto en el futuro (Guerrero, 2007).

Al material utilizado para la construcción en tierra se le denomina barro y es la mezcla de arcilla, arena fina, limos y en ocasiones agregados mayores como grava o piedra (Grf. 01), dependiendo de la proporción utilizada de cada uno de estos componentes, se obtendrá diferentes propiedades físicas y mecánicas.



Grf 01. El material de tierra
Carazas (2002)



Img 03. Compactación de muro de tapial
Minke (2001)

1.1.3.3 Clasificación de los componentes de la tierra

Las partículas de la arcilla tiene un tamaño inferior a los 0,002 mm tiene características plásticas, adherencia, y cumplen el rol de aglomerante, este componente es el que brinda la adherencia entre los diferentes agregados, por otra parte los limos son partículas de arena con un diámetro entre 0,05 mm y 0,002 mm, la arena se encuentra entre los 0,05mm a 3 mm y la grava mayores a 3 mm, estos últimos dan estructura y estabilidad al sistema.

1.1.3.4 Tipologías de construcción con tierra

Diversas técnicas han sido desarrolladas de forma tradicional y han sido transmitidas hasta la actualidad, cada una a tenido relación por medio de las costumbres, clima del lugar y la disposición de la tierra y sus características, Barbeta (2002) clasifica en tres sistemas generales a la transformación de la tierra sin cocer en elementos de construcción.

El primero es la fabricación de pequeños elementos individuales (adobe), pudiendo ser bloques, ladrillos que son unidos con mortero para realizar la obra de construcción, el segundo sistema es el amasado de la tierra y moldeo de una sola pieza (tapial), que da lugar a una construcción maciza, y por último la técnica de recubrir o rellenar una estructura de material diferentes con tierra (bahareque), en este caso la estructura portantes es la que soporta la edificación y la tierra pasa a ser el relleno.

Tapial

El tapial es una técnica que consiste en la construcción de muros, por medio de la compactación de la tierra con un pisón utilizando como cofre tablonés de madera llamadas tapieras, el proceso de construcción consiste en verter entre las tapieras una capa de tierra también llamada tongada de 10 a 12 cm que se va apisonando hasta alcanzar la altura deseada (Img. 03).



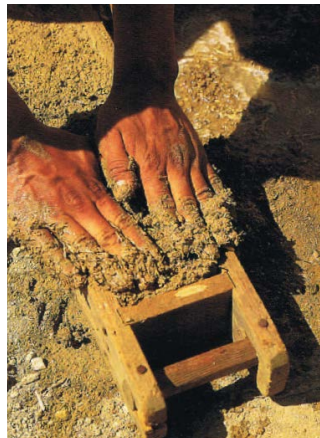
Adobe

El adobe es un bloque de barro que se obtiene al mezclar: tierra arcillosa, arena, grava y fibras vegetales, utilizando un molde impregnado de aceite para prensar la mezcla; posteriormente se retira el molde colocando el bloque sobre una superficie plana para proceder a su secado (Img. 04).

Esta técnica tiene la ventaja de ser prefabricada, almacenada y transportada en piezas a la obra, en la construcción al ser elementos mampuestos son unidos por mortero de arena y barro.

Bahareque

El bahareque es un sistema mixto en el que la mayoría de los esfuerzos que recibe la tierra son soportados por una estructura hecha de material vegetal (madera), consta de una estructura fija y estable de madera que es asentada en una base de piedra o pilotes, amarrada con vigas por medio de riostras en la parte superior e inferior" (Arriola, 2008), utilizando tierra y paja como relleno (Img. 05-06).



Img 04. Fabricación del adobe
Yuste (2016)



Img 05. Fabricación de bahareque
Henneberg (2012)



Img 06. Fabricación de bahareque
Colectivo bma (2015)



Img 07. Muro de bahareque sin recubrimiento,
<http://tectonicablog.com>

1.1.4 La tierra como recurso sostenible

La industrialización ha llevado al agotamiento y contaminación de los recursos naturales, lo cual ha generado un gran interés en el desarrollo de tecnologías que apliquen el término de sostenibilidad. Una de las principales fuentes de contaminación son las actividades de construcción, que tienen un gran impacto ambiental y requiere la aplicación de características de sostenibilidad. Hoy en día la sostenibilidad en los diseños arquitectónicos en un tema importante, de manera que se ha ido desarrollando constantemente de acuerdo a los avances tecnológicos existentes.

El bahareque, tapial y adobe pertenece al tipo de construcción en tierra cruda, los mismos son basados en el aprovechamiento de los recursos naturales casi en su forma más primitiva; por lo tanto, es importante mencionar sus principales ventajas orientadas al concepto de sostenibilidad.

1.1.4.1 Materia prima sustentable

La tierra a diferencia de otros materiales de construcción actuales es inerte, lo que no representa ningún riesgo de contaminación medioambiental; siendo sus materiales de construcción completamente inofensivos para el ser humano, cabe recalcar que los mismos, responden al clima y se adaptan a distintos contextos. Características que hacen una arquitectura de bajo impacto ambiental pero que requiere de mayor gasto energético en cuanto a su mano de obra.



1.1.4.2 Bajo costo energético

Uno de los factores más importantes en los materiales de construcción en términos de sostenibilidad, es su gasto energético para su elaboración, transporte y puesta en obra. Los sistemas constructivos basados en tierra cruda a comparación de otros utilizados actualmente, tienen un gasto energético muy bajo; requiriendo tan solo el 1% de energía que necesita los ladrillos cocidos o el hormigón armado en su producción, transporte y puesta en obra. Debido a esto se considera como un material de consumo energético muy bajo, aunque requiera mayor esfuerzo en la mano de obra (Img. 09).

1.1.4.3. Ciclo de vida de bajo costo

Los costos de extracción y transporte para la tierra son mínimos, ya que sus materiales en general se pueden obtener en el mismo sitio de la construcción, y en el caso de que la tierra no sea la adecuada se puede recurrir a la estabilización mediante cal,

obtener la calidad deseada (Vázquez, 2001). Por lo cual sus costos energéticos de producción son bajos al obtener su materia prima del sitio (Img. 08).

Además de que, al terminar su vida útil estos pueden ser reintegrados totalmente a la naturaleza, por su capacidad de ser reciclado varias veces; introduciéndolos de nuevo a un ciclo de producción. Esto supone una gran reducción en los costos de extracción, transporte, producción y reintegración a la naturaleza a comparación de otros sistemas constructivos.



Img 08. Extracción y preparación de tierra
<https://sites.google.com>



Img 09. Preparación de bloques de adobe
<https://commons.wikimedia.org>



Img 10. Shibam, Yemen
<http://adenalgd.net/>



Img 11. Kashbah, Marruecos
<http://adenalgd.net/>

1.1.5 Arquitectura de tierra en el mundo

La construcción en tierra ha sido uno de los métodos de construcción más antiguos en el mundo, lo cual, según investigaciones, se da inicio cuando el hombre se convirtió en sedentario e inicio su actividad agrícola hace más de 9.000 años (Minke, 2001). Las construcciones más antiguas en tierra se desarrollaron en Mesopotamia en tiempos cercanos a 10.000 años a.c. y en América del sur hacia 5.000 a.c. (Alzate, Osorio, 2014). Debido a que la materia prima se encontraba disponible de manera natural en el sitio, además de ser un material versátil, debido a esto se convirtió en el tipo de construcción más común en todo el mundo.

El desarrollo de la técnica fue mejorando a lo largo de la historia, como se muestra en edificios simbólicos como la biblioteca de Alejandría, la torre de babel edificios propios de babilonia. En China hace 4.000 años tenemos la Gran Muralla China que

inicialmente se uso tierra apisonada seguida de un revestimiento de piedras naturales que da la apariencia de una muralla de piedra además de muchas viviendas rurales que se construyeron con tierra apisonada con una forma rectangular o circular que incorpora un patio central, generalmente de tres a cinco pisos en Fujian Tulou. En México entre los años 300 – 900 data la Pirámide del sol ubicada en Teotihuacán el cual su núcleo fue construido con 2 millones de toneladas de tierra apisonada. En Yemen en la ciudad de Shibam cuenta con obras de altura, consideradas los primeros rascacielos en el mundo, se trata de casas entre 9 a 10 pisos construidas en su totalidad con adobes. Por otro lado, en Marruecos muchas de sus aldeas fueron construidas con tapial y decoradas en su fachada por adobes (Gatti, 2012). ejemplos de este tipo se encuentran repartidos a lo largo del mundo en edificios agrícolas, monumentos, obras religiosas etc.



1.1.5.1 Ejemplos contemporáneos

Esta técnica se ha ido desarrollando y mejorando con el tiempo hasta la actualidad a la par del desarrollo de la tecnología, entre los casos más relevantes en el mundo tenemos: La residencia Salvatierra en Francia (Img. 12), es un edificio de apartamentos, con una altura de 5 pisos del año 2002, para el cual se utilizó la técnica de bloque de tierra comprimida BTC; alrededor de 300 toneladas en el muro sur además de otros materiales como la madera y el cáñamo (Gatti, 2012).

En Austria como ejemplo de la técnica en tapial el complejo de oficinas Gugler Print and Media (), el cual fue realizado por paneles prefabricados de tapial y carpintería en madera, disminuyendo considerablemente la colocación en obra que duro 2 semanas, se utilizó alrededor de 208 toneladas de tierra del sitio.

En adobe tenemos la Bodega en Robles, ubicado en San Fernando en Chile realizado por el Arquitecto Jose Cruz en el año 2002 (Img. 14). En el cual se mezcla con materiales contemporáneos y se usa la masa térmica de los adobes para un mejor confort térmico y acústico en salas de presentación o de cata de vinos.

En el Reino Unido el Pabellón de Servicios de Eden realizado con un sistema tradicional Cob, esta obra fue realizada por las arquitectas Jill Smallcombe y Jackie Abbey, esta técnica tiene una gran característica de forma, ligereza, escala y contraste, permitiendo realizar esta obra con paredes curvadas, las cuales son protegidas por zócalos y un gran alero de los agentes naturales (Bestraten, 2011).



Img 12. Residencia Salvatierra en Francia
Gatti(2012)



Img 13. Oficinas Gugler, Australia
<http://terra-award.org>



Img 14. Bodega en Robles, Chile
<https://www.archdaily.pe>





1.2 SISTEMA CONSTRUCTIVO EN BAHAREQUE

1.2.1 Definición

El bahareque es un sistema constructivo de tierra cruda usado desde la época precolombina, consta de un sistema de pared portante compuesto por una estructura aporricada generalmente de bambú guadua o madera, a las cuales son amarradas varas horizontales a ambos lados de caña o madera, esta conforma una cámara que se rellena con barro y otros materiales, finalmente es recubierto con revoque (enlucido/empañete) por una mezcla entre barro y agua (Leon, 2010).

Según (León, 2010) al hacer un análisis del bahareque lo define en cuatro partes: horconadura, enlatado, embutido o relleno y empañetado.

Horconadura: Es la estructura formada por columnas y soleras de madera o caña generalmente de 20 x 20 cm según norma NEC ecuatoriana

Enlatado: consta de varillas horizontales amarradas a la horconadura, las cuales sirven de soporte para el relleno.

Relleno: es una mezcla de barro, agua y otros elementos como piedras, paja o teja.

Empañetado: es el recubrimiento final del muro la cual consta de barro y fibras naturales.





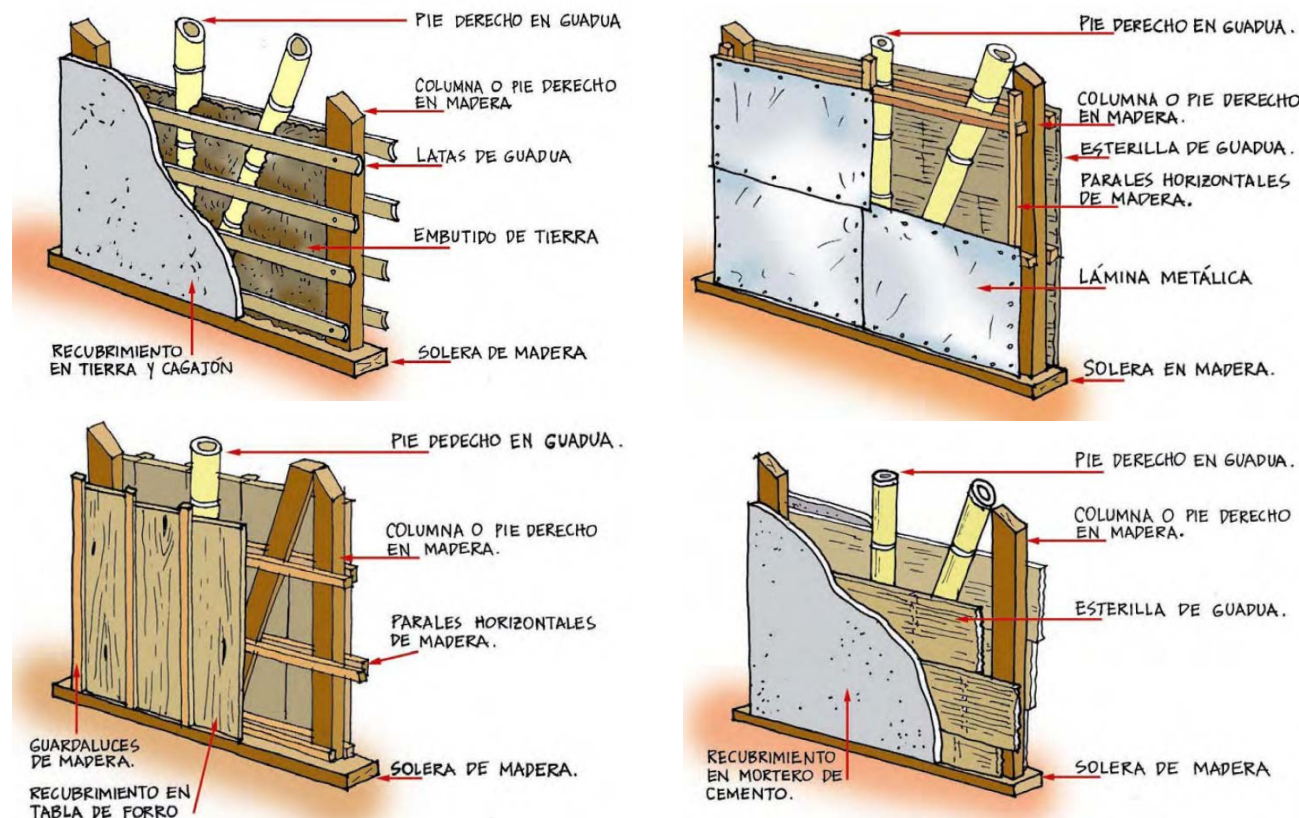
1.2.2 Tipos de bahareque

1.2.2.1 Bahareque de tierra

Es un sistema de entramados que forman pórticos de madera o guadua, los cuales tienen un relleno de tierra ya sea con paja u otros elementos como piedras, fragmentos de teja, fibras naturales, etc. Sostenidos por latas de guadua o carrizo y para su acabado final (empañete) se utiliza una mezcla de tierra con guano de caballo. Existe una variación de este en el que se elimina el relleno de tierra y se cambia el enlatado por una esterilla de guadua, que sirve como soporte para el empañete.

1.2.2.2 Bahareque de tabla

Este sistema tiene una estructura de entramados de madera o guadua que forman pórticos, para su recubrimiento se utiliza tablas de madera que generalmente se disponen verticalmente.



Grf 02. Tipo de bahareque por tipo de recubrimiento
AIS(2002)



1.2.2.3 Bahareque metálico

Este sistema tiene una estructura de entramados de madera o guadua que forman pórticos, para su recubrimiento se utiliza laminas metálicas, generalmente se utiliza para fachadas y en su interior se utiliza otro tipo de recubrimiento.

1.2.2.4 Bahareque encementado

El bahareque encementado se forma por una estructura basado en pórticos de guadua o madera para el cual utiliza como recubrimiento una esterilla de guadua y para el acabado final sobre esta se aplica un mortero de cemento y arena.

Otra clasificación basada en el tipo de sistema constructivo empleado en bahareques de Carazas y Rivero en la guía de construcción parasísmica (2002):

1.2.2.5 Bahareque de tierra tradicional

Este sistema consiste en el uso de madera rolliza o caña guadua para su estructura,

se rellena con paja al interior de un armazón formado por tiras de bambú o carrizo amarradas con sogas a la estructura de madera.

1.2.2.6 Bahareque de tierra contemporaneo

En este tipo de bahareque a diferencia del sistema tradicional, se utiliza para su estructura madera aserrada, y las tiras de bambú o carrizo son fijadas con clavos o alambre a la estructura.

1.2.2.7 Bahareque de tierra prefabricado

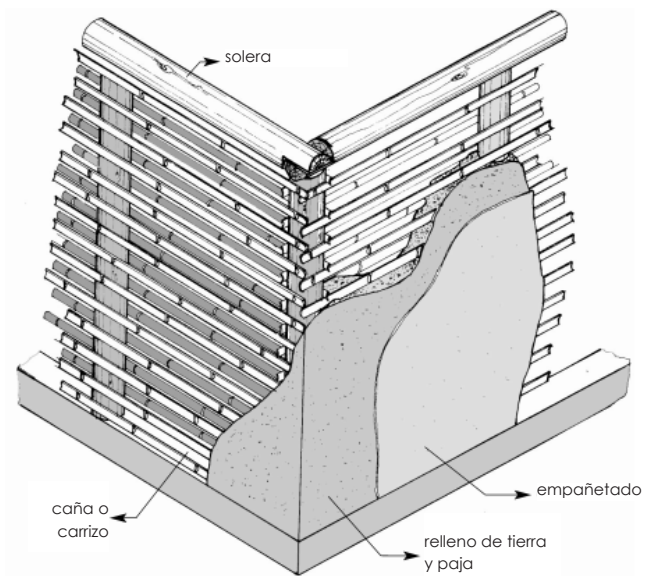
En este sistema el objetivo es ahorrar el tiempo de ejecución para lo cual se crea módulos de relleno los cuales son anclados a la estructura de madera aserrada en obra, usualmente se utiliza bastidores de madera entretejida con la caña o carrizo verticalmente lo cual permite su auto fijación. Una vez colocados los módulos se da una primera capa de tierra con paja para luego proceder a la capa fina de terminado de empañete (Grf. 03).



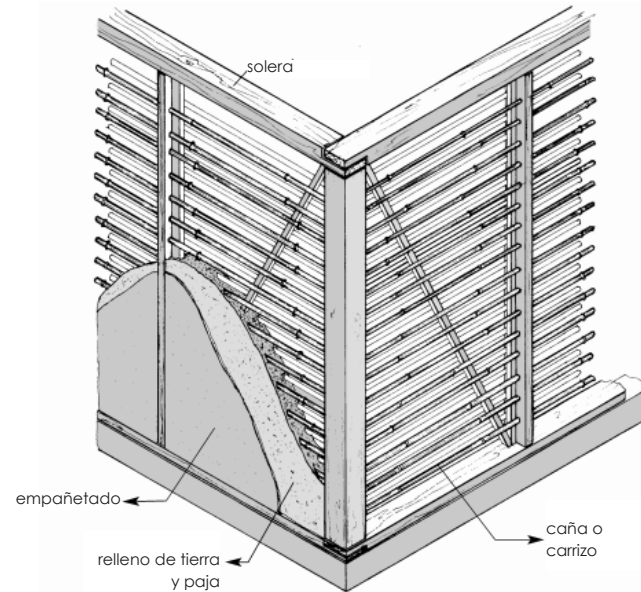
Img 17. Bahareque de tierra
Maldonado(2017)



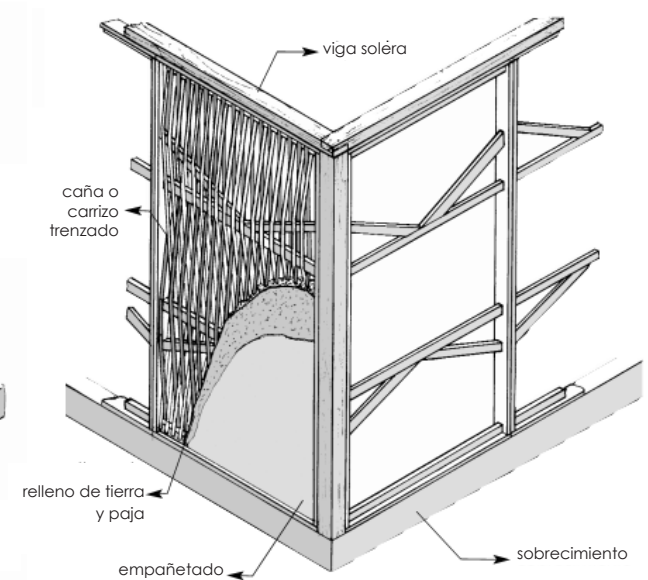
tradicional



contemporaneo



prefabricado



Grf 03. Tipos de bahareques en tierra
Carazas (2002)



1.3 PROCESO DE PRODUCCIÓN EN BAHAREQUE

1.3.1 Materiales usados

Los principales materiales utilizados para la construcción en bahareque son la madera (aserrada o rolliza), la caña (carrizo), y el material de relleno, en este caso barro mezclado con fibras vegetales.

1.3.1.1 Madera aserrada

La madera compone la estructura de este sistema constructivo, utilizada para columnas, vigas soleras, refuerzos, vanos de puertas y ventanas. Se recomienda especies como: tornillo, moena alcanforada, copai-ba, sin presentar rajadura y estar secas (Rodríguez, 2009); según la norma NEC el contenido de humedad de la madera para la construcción debe estar comprendida entre 12 y 15%.

1.3.1.2 Caña

La caña es el nombre que reciben diversas especies de bambúes, las mas recomendadas para la construcción en bahareque son: carrizo, caña brava, guadua, bambú y caña de Guayaquil.

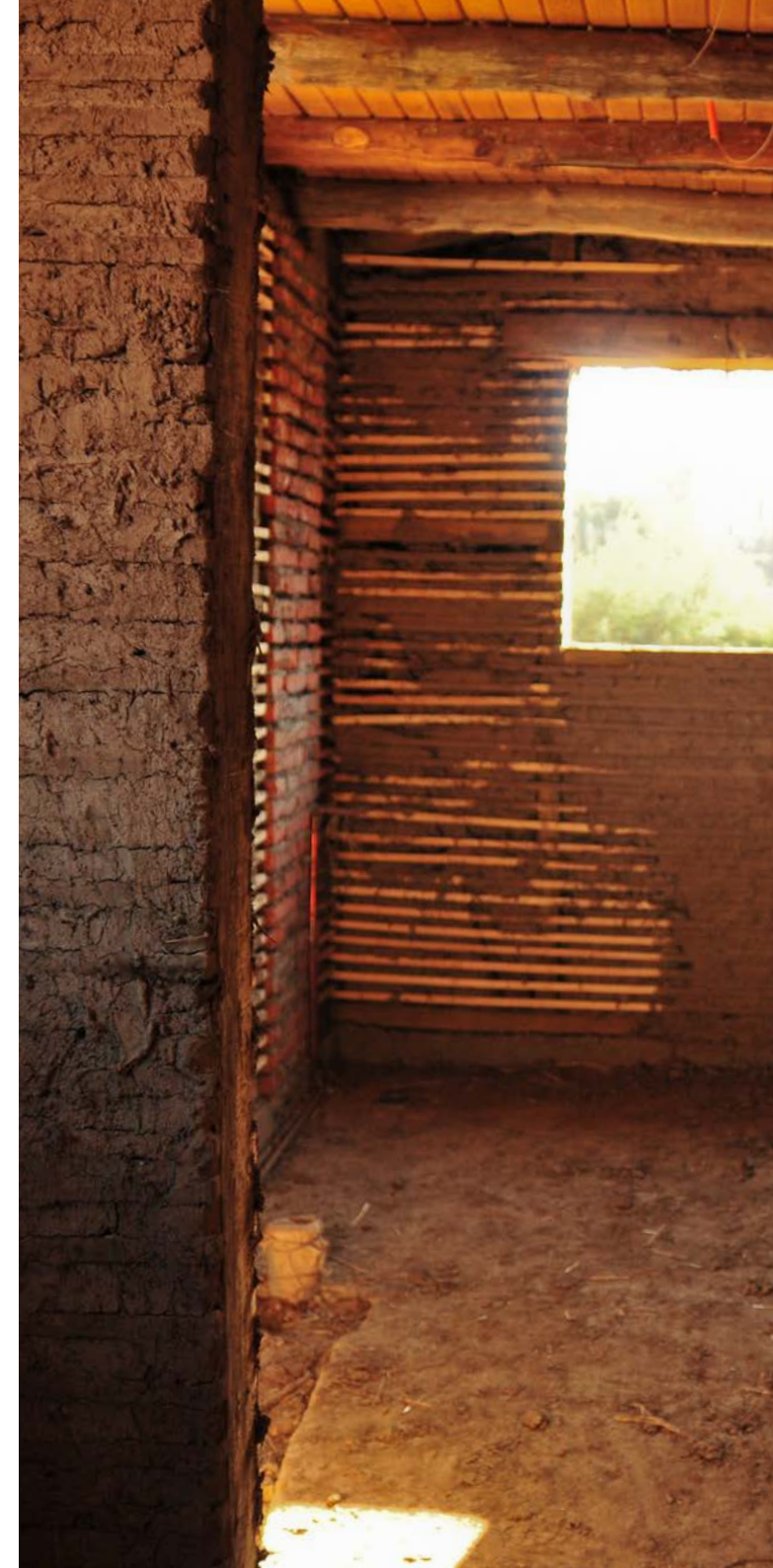
El carrizo es una gramínea que se desarrolla en zonas cálidas llegando a medir más de 6 metros con un diámetro que variar de 1.2 a 3.8 cm, ensayos de tracción han demostrado que puede llegar a soportar hasta 1000 kgf/cm².

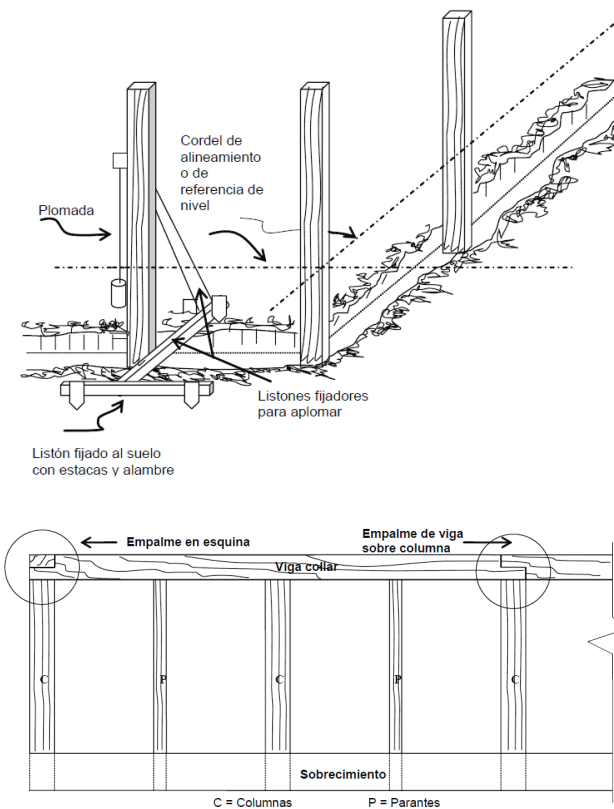
1.3.1.3 Barro y paja

Esta es una mezcla que se utiliza como relleno y para la cubierta, brindando una buena característica aislante. El barro debe ser arcilloso libre de sales, se mezclara con fibra (paja cortada en 10 cm aproximadamente, la envoltura del carrizo; también puede usarse aserrín), esto ayuda a que el barro trabaje correctamente, evitando el agrietamiento al momento de secarse, esta mezcla debe ser curada por 4 días (Rodríguez, 2009).

1.3.1.4 Otros materiales

Cabuya, cemento, hormigón, arena, brea, clavos, malla electro soldadas o alambre negro N° 18.





Grf 04. Plomada de columnas, cimentación y viga collar
Carazas (2002)

1.3.2 Mano de obra

Para la construcción se requiere de un técnico en construcciones para realizar los trabajos de trazado, colocación de columnas, encofrado de sobrecimientos, colocación de parantes, vigas soleras, instalaciones y enlucido final, mientras que un peón se encargará de la limpieza, nivelación del terreno, excavación de zanjas, colocación de la caña, preparación del barro, revestimiento de muros con barro y construcción de la cubierta.

1.3.3 Proceso constructivo de bahareque

El proceso constructivo de muros en bahareque tradicional se lleva a cabo inicialmente con el diseño de la vivienda, proveyendo instalaciones y características del suelo en el cual se implantará. El procedimiento consta de las siguientes actividades: preparación del terreno, estructuras, armado de entramado, relleno y revestimiento.

1.3.3.1 Preparación del terreno

Limpieza

El terreno debe quedar libre de maleza, basura, escombros, piedras, etc. Si al momento de las excavaciones existe materia orgánica debe ser retirada y remplazada por material de mejoramiento.

Nivelación

Para esta actividad con la ayuda de una manguera y agua definiremos la altura a la que se encontrará la edificación, lo recomendable es que quede 10cm arriba de la línea de vereda y en zonas rurales que no queden bajo el nivel freático de algún canal de riego o similares.

Trazo y replanteo

Con la ayuda de carretes y cuerda se traza los ejes de paredes, cimientos e instalaciones sanitarias, igual que se lo realiza en construcciones convencionales.



1.3.3.2 Estructuras

Excavación para zapatas y cimientos

Con la ayuda de las guías marcadas de acuerdo a las dimensiones de ancho y profundidad, se excavan las zanjas y se procede a colocar una capa de hormigón pobre para nivelar el nivel de cimentación además de asegurar la distribución uniforme de las cargas al suelo.

Colocación de columnas de madera

Previo a la colocación las columnas se debe emplear una capa de asfalto, hasta la altura en la que la cimentación cubrirá a la madera, además de dejar 4 clavos de 6" por cara en columnas y 8 clavos de 4" en los parantes. A continuación se colocan las columnas alineadas y aplomadas controlando que la parte superior quede a nivel para la colocación de la viga collar o de amarre el mismo procedimiento con los parantes.

Vaciado de cimientos

Una vez colocado las columnas y parantes se vierte hormigón ciclópeo 60% hormigón y 40 piedra quedando las columnas embebidas en el mismo.

Sobrecimiento

Para la construcción del sobrecimiento llamado también sobrebase, es necesario armar el encofrado y se vierte hormigón $f'c$ 210 kgf/cm² con altura de 20 cm dejando embebido alambre N° 18 en forma de U, para la fijación del barrote que irá a nivel del sobrecimiento, el sobrecimiento ayuda a proteger la madera además, sirve para contener los anclajes para la solera inferior y muro de barro.

Viga collar de madera

Esta se coloca en la parte superior de las columnas y parantes, formando pórticos, ensambladas generalmente con uniones caja y espiga, permitiendo el movimiento de la estructura sin que esta sufra daño, la viga collar a su vez sirve de soporte para el entre piso o cubierta.

La unión a media madera de dos piezas colinales de la viga solera no debe coincidir con un encuentro T o en + de la misma.

Colocación de largueros

Los largueros o también conocidos como travesaños se ubican entre los pórticos, brindando mayor resistencia, disminuyendo la altura de unión de los elementos, este va unido por medio de clavos lanceros (clavado de manera diagonal a los elementos), a las columnas y parantes.

1.3.3.3 Armado del entramado

El entramado, no es más que la construcción del panel entretejido con caña, guadua, carrizo u otros tipos de gramíneas, esta actividad también es conocida como "enlatado", la dirección del entramado varía de un lugar a otro, pero el más utilizado en el bahareque tradicional es de modo horizontal con separaciones entre 10 y 20 cm. El entretejido y amarre del entramado se realiza con la ayuda de diferentes tipos de fibra vegetal como la cabuya, vejeco, cuero entre otros (Maldonado, 2017).



Img 18. Entramado y relleno de bahareque
Manolo Salgado



Img 19. Empañetado
Manolo Salgado

1.3.3.4 Relleno

Para el relleno, la tierra no tendrá una característica en especial, simplemente debe dejarse reposar por 2 a 3 días, su granulometría puede poseer piedras variables ayudando a agilitar el proceso del relleno. "Se recomienda utilizar paja cortada en tramos de aproximadamente 10 cm de longitud y en una proporción de alrededor de 1% en peso, lo que significa una relación de un volumen de paja por dos de tierra" (Guertero, 2007).

1.3.3.5 Revestimiento

El revestimiento es una mezcla de barro, actuando como capa protectora, con un espesor de 2 a 3 centímetros, utilizando una dosificación de 50% arena, limos 30% y un 20% arcilla (Altamirano, J. Ordoñez. Palacios. 1986, pág. 125), la mezcla puede ser mejorada con fibras vegetales, es habitual que se utilice guano de caballo por las fibras que esta contiene, en proporción de 60% barro y 40% guano.



1.4 VENTAJAS DEL SISTEMA DE BAHAREQUE

1.4.1 Características térmicas

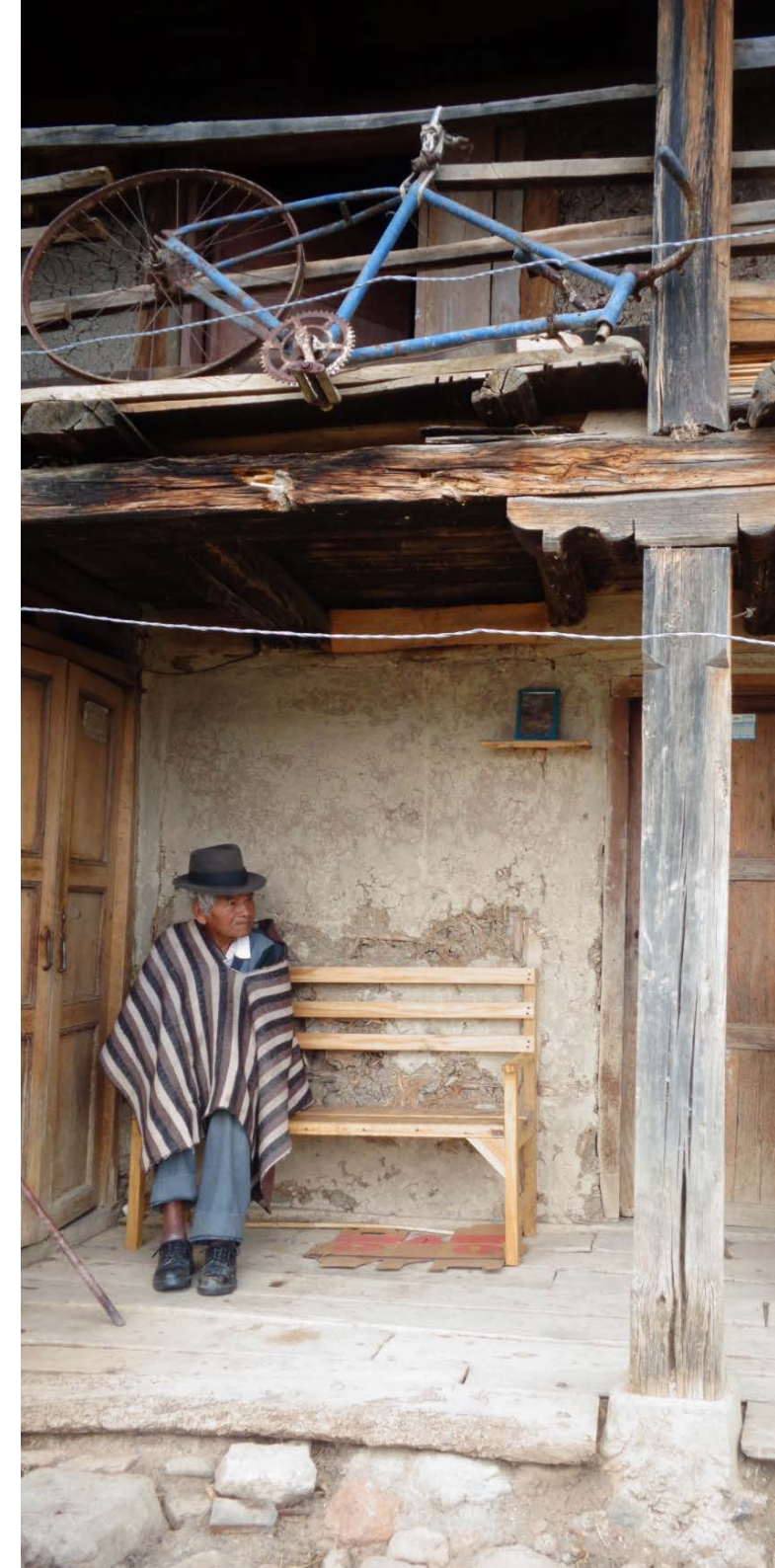
El confort térmico brinda parámetros referentes con los cuales se puede valorar las condiciones micro climáticas de un espacio y determinar si son adecuados térmicamente para el uso del ser humano (Pesántes, 2012), el rango de confort térmico en Ecuador se encuentra entre los 18° y 26° , según la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC).

El bahareque al contar con una conformación heterogénea y al existir diversos métodos de construcción, no es posible definir su conductividad térmica o transmitancia térmica (U , medida de calor que fluye por unidad de tiempo y superficie) de manera precisa, según Cuitiño (2015), el valor de transmitancia térmica es de $2.64 \text{ W/m}^2\text{K}$ para un muro de bahareque de espesor 0.094 m , mientras que un muro de adobe de espesor 0.30 m es de $2.73 \text{ W/m}^2\text{K}$, y de ladrillo enlucido espesor 0.20 m $4.13 \text{ W/m}^2\text{K}$.

1.4.2 Características acústicas

Debido que el bahareque está conformado por diversos materiales, su densidad varía, esto a su vez se relaciona a la capacidad aislante. Aproximadamente en muros de un espesor de 20 cm tiene una densidad de 1700 Kg/m^2 , esto bastante aprovechable según (Soto, 2012), llegando a obtener un aislamiento acústico alrededor de 50 dB , lo cual se podría mejorar al utilizar aberturas de dimensiones reducidas, un muro de ladrillo de 15 cm tiene un aislamiento acústico entre los 40 y 45 dB .

Sin embargo, ya que los materiales de los que está compuesto y el proceso de construcción son muy variados de un lugar a otro, es recomendable que el valor de aislamiento acústico en muros sea evaluado in situ.





Grf 05. Zonas sísmicas
IMG (2011)



Img 20. Vivienda de bahareque afectada por un sismo en Guatemala
Minke (2001)

1.4.3 Características sismo-resistentes

Debido a que varias zonas en el mundo son afectadas por los sismos (Grf. 05), los cuales son ocasionadas por el movimiento de las capas tectónicas o por actividades volcánicas. La resistencia de las construcciones es una condición necesaria a analizarse. Según (Minke, 2005) existen ciertas características que son más relevantes en el comportamiento de una estructura durante un sismo:

- Resistencia contra fuerzas horizontales
- Ductilidad (capacidad de deformación)

“Una estructura debe tener por ejemplo una gran resistencia y una baja ductilidad o una resistencia baja y una ductilidad alta o puede tener valores medianos tanto de la resistencia como de la ductilidad.

Todas estas soluciones posibles tienen probabilidades similares de resistir un sismo de gran intensidad sin colapsar” (Minke, 2005).

El bahareque debido a que su estructura principal está compuesto por pórticos por medio de soleras y columnas de madera. Lo convierte en un sistema dúctil y liviano a diferencia de otros sistemas de tierra cruda; lo que lo hace resistente al impacto de los sismos.



1.5 PATOLOGÍAS DEL SISTEMA EN BAHAREQUE

Según Broto en Patologías de la Construcción (2006), podemos considerar patología al estudio de los problemas que aparecen en un edificio o en alguna de sus unidades, los daños y lesiones que presenta una edificación son clasificados según su causa, en físicas, biológicas y mecánicas que afectan a cualquier de los elementos de la edificación.

1.5.1 Patologías físicas

Estas son producidas por fenómenos físicos como la humedad, erosión atmosférica y suciedad, la humedad podrá ser de origen freático, capilar, filtración y accidentales, la erosión atmosférica podrá reseca y envejecer la madera presentando decoloración y fendas (grietas, fisuras o astillamiento), la suciedad podrá ser por depósito y por lavado diferencial (Lasheras, 1998).

Las lesiones se producen por la presencia de agua, siendo superior a la considerada por las normas en un material o elementos constructivos, variando las características físicas, por otra parte los rayos ultravioleta

provocan lesiones como resequedad, figuración, decoloración y pérdida de brillo, por lo que los agentes atmosféricos influyen en gran medida al deterioro de las edificaciones en bahareque.

1.5.2 Patologías biológicas

También conocidas como patologías químicas, según Broto (2006) "todos los organismos animales o vegetales desarrollan un proceso patológico de carácter químico, puesto que segregan sustancias que alteran la estructura química y física del material", las plantas por el peso y la acción de sus raíces causa lesiones a los materiales; los insectos que se alimentan del material, las aves o roedores pueden producir lesiones erosivas, por otra parte la plantas microscópicas como el mohos, que afectan en el aspecto, color y olor del material; y los hongos que afectan a la madera (Pineda, 2017).

1.5.3 Patologías mecánicas

Las patologías mecánicas son causadas por la acción de fuerza o factor mecánico





Tipología de la lesión	Sintomatología	Agente patológico
Físicas	Humedad	Presencia de agua en mayor proporción a la normal
	Humedad capilar	Agua que asciende del suelo
	Humedad por filtración	Agua del exterior que penetra por muros o cubiertas
	Suciedad/pudrición/guadua/madera	Excrementos animales/ vegetación/ hongo/moho
Biológicas	Pudrición parda	Presencia de hongos
	Deterioro de materiales	Organismos animales o vegetales
	Lesiones erosivas	Presencia de roedores, aves o mamíferos
	Desintegración	Presencia de xilófagos
Mecánicas	Deformaciones	Cargas y sobrecargas
	Agrietamientos y fisuras	Asentamiento del suelo
		Humedad
		Vibraciones
		Esbeltez
		Falta de amarre entre muros
	Desprendimientos	Dilataciones
		Retracciones
	Pandeos	Esbeltez de elementos
	Alabeos	Flexiones
		Rotación por esfuerzos horizontales
	Aplastamiento	Infiltración de agua a muros
	Flechas	Estructuras colindantes en mampostería
	Volcamiento de viguetería en muros	Flexión de elementos horizontales, por exceso de cargas verticales
	Desplazamiento o desplome de muros	Deficiencias en cimentación
		Filtración de agua.

Tab 01. Tipologías de las lesiones, síntomas y agentes causantes
Pineda (2017)

que produce movimientos, aberturas, erosiones mecánicas, separaciones, desgaste de materiales y elementos, estos ocasionan fisuras, grietas, desprendimientos, descascaramientos, deformaciones y rupturas. Las principales patologías mecánicas son: deformaciones (flechas, pandeos, desplomes, alabeos); fisuras (reflejo del soporte e inherente al acabado); grietas (exceso de carga, por dilatación y contracción hidrotérmicas, y desprendimiento) (Broto, 2006).

Deformaciones

Las deformaciones son todas las variaciones de la forma del material o elemento estructural, a consecuencia de esfuerzos mecánicos.

Grietas y fisuras

Las causas para estas patologías son varias, tales como el asentamiento del suelo, humedad, estructuras deficientes, falta de amarre, sobrecarga, sismos, vibraciones, choques, dilatación y contracción, movimientos dispares de elementos superando la resistencia del material.



1.6 NORMAS DE CONSTRUCCIÓN DE BAHAREQUE

Existen normativas orientadas a la construcción en tierra y dentro de ellas el sistema constructivo de bahareque, tanto nacionales e internacionales, las cuales dan ciertos rangos y criterios para su construcción. Entre ellas podemos encontrar:

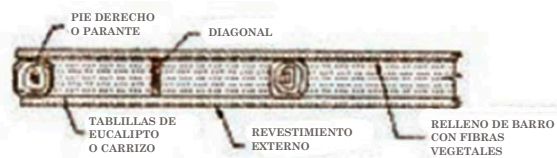
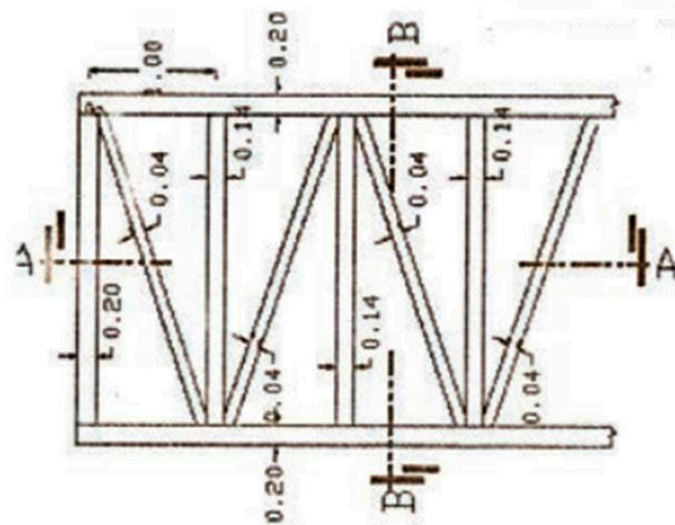
- Norma peruana E.080 en la que se analizan los requisitos y pruebas previas(empíricas y científicas) para la construcción con tierra en general, sin llegar a determinar normas específicas para el sistema constructivo en bahareque.

- Manual de diseño para maderas del grupo andino por la junta del acuerdo de cartagena, aquí encontramos todas las especificaciones de la madera a ser utilizada, así como diversas formas de uniones, anclajes y cálculos de resistencia de paneles modulares de madera.

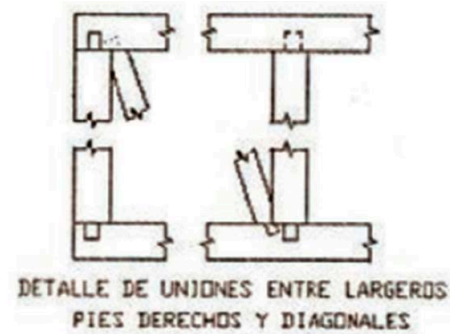
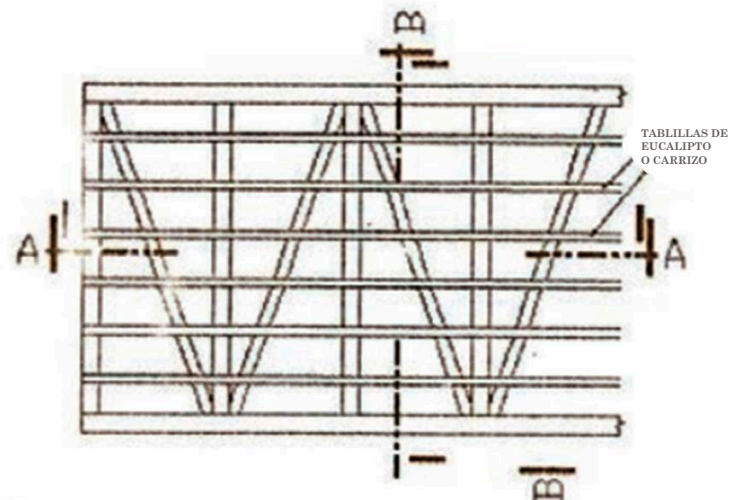
- Norma ecuatoriana de la construcción NEC para viviendas de hasta dos pisos con luces de hasta cinco metros; en esta norma encontramos especificaciones sobre muros de bahareque o quinchá limitándose al dimensionamiento del muro en general los muros de bahareque son catalogados como muros portantes, las especificaciones son orientadas al diseño de la vivienda (Grf. 07).

- Norma andina para el diseño y construcción de casa de uno y dos pisos en bahareque encementado INBAR para países del área andina (Colombia, Ecuador y Perú); especifica los requisitos mínimos necesarios para otorgar a la vivienda de bahareque encementado, un grado de sismoresistencia, utilizando como estructura la caña guadua, desde las uniones, cimentaciones, estructura, columnas y diafragmas.





CORTE A-A



**DETALLE DE UNIONES ENTRE LARGEROS
PIES DERECHOS Y DIAGONALES**

Grf 07. Detalle de bahareque Norma NEC vivienda
NEC(2015)

INTRODUCCIÓN

Para este capítulo por medio de la información ya recopilada, se fabricaran prototipos a escala con variación a los elementos que lo conforman, esto partirá del análisis de los materiales y métodos para su construcción.



CAPITULO 02

FASE EXPERIMENTAL



2.1 MATERIALES QUE CONFORMAN LA CONSTRUCCIÓN DE PROTOTIPOS EN BAHAREQUE

Para la construcción de los prototipos en bahareque se utilizarán materiales tradicionales, procurando que estos sea lo más similar a los desarrollados en la región y cumpliendo con las características apropiadas, algunos de estos serán vasados en estudios realizados anteriormente, puesto que esta investigación se centra en la comparación de variaciones a los elementos y no a los materiales.

2.1.1 Madera

La madera al ser el material que conforma la estructura maestra en el sistema constructivo de bahareque.

Para la construcción de los prototipos en bahareque, la elección de la madera tendrá que ver directamente a las propiedades que presenta y tomando en cuenta la información recogida de otras investigaciones.

Existe gran variedad de especies indus-

triales que son producidas en la región Interandina Ecuatoriana, tales como, eucalipto, cutanga, moral bobo, algarrobo, tamarindo, pino, acacia, cedro, chuncho, Fernan Sánchez, guayacán, guachapeli, laurel, maní de árbol, marañón, masca-rey, pachaco, sangre de drago, terminalia, tangare, cipres, cholan, nogal.

Para esta investigación se eligió al pino por presentar las características adecuadas estructuralmente debido a sus propiedades, esta especie es la segunda más plantada en la sierra ecuatoriana por su adaptabilidad a los climas y rápido crecimiento.

2.1.2 Carrizo

El carrizo fue recolectado en una estuquería en Cuenca, dicho material es traído de las Escalinatas de Virgenpamba, esto se encuentra ubicado en el cantón Paute, de estas se selecciono un diámetro de entre 1.5- 3 cm, además de encontrarse seca.





Img 21. Materiales para construcción de prototipos
Propia

2.1.3 Tierra

Para la tierra tomamos como referencia la investigación realizada por Aguilar y Quezada (2017) , en la cual se analizó diferentes adoberas ubicadas en la parroquia rural de Sinincay y la parroquia urbana de Cuenca, la adobera ubicada en la parte posterior del centro comercial Racar Plaza, fue la seleccionada para la obtención del material, dicho material fue recolectado ya en etapa de curado la cual ya fue mezclada por caballo como lo indica la imagen.

2.1.4 Paja

La paja fue adquirida en los carboneros de la Feria Libre, los cuales nos pudieron comentar que dicha paja era sobrante de la recolección del trigo, esta fibra se encontraba ya seca.

2.1.4 Arcilla

Este material es usado en el revoque, este fue recolectado en forma de piedras que fácilmente eran disgregadas, este material fue obtenido de una excavación de sector de Racar.

2.1.4 Guano

El guano de caballo se utiliza para el revoque de los prototipos este fue de igual manera que el material de tierra, adquirido en la adobera de Racar.



2.2 PRUEBAS DE MATERIALES A USAR

2.2.1 Pruebas empíricas o de campo

Los pruebas empíricas o de campo no son exactas pero por lo general son lo suficientemente precisas para determinar la composición de la tierra, considerando si es aceptable o no para ser aplicado en determinada técnica constructiva de tierra cruda (Minke, 2005).

2.2.1.1 Ensayo de olor

Este ensayo determina la presencia de materiales orgánicos en la tierra, si la tierra está libre de materia orgánica es inodora, mientras que si se detectara un olor a moho, esto es producto de la descomposición del material orgánico.

2.2.1.2 Ensayo de la mordedura

Para este ensayo como su nombre lo indica, consisten en morder de manera leve una muestra de tierra humedecida, si esta produce una sensación desagradable se puede decir que el barro es arenoso, en cambio si el barro es arcilloso da una sen-

2.2.1.3 Ensayo de lavado

Este ensayo consiste en frotar una muestra de barro húmedo entre las manos, si se siente claramente las partículas se puede decir que el barro es arenoso, por otra parte si es pegajosa pero puede ser desprendida al frotarse cuando esta se seca se dice que el barro es limoso y por ultimo si es pegajosa y es necesario usar agua para retirarlo de la manos quiere decir que el barro es arcilloso.

2.2.1.4 Ensayo de corte o de brillo

Para este ensayo se moldea en forma de bola una muestra de barro de 4 cm de diámetro, que posteriormente será cortada con un cuchillo por la mitad, si la superficie es muy brillante el barro es arcilloso, por otra parte si es poco brillante es limosa y finalmente si la superficie no produce brillo el barro es arenoso.





Img 22. Material de tierra para ensayos
Propia



Img 23. Disgregación de material
Propia



Img 24. Ensayo lavado de manos
Propia



Img 25. Ensayo de corte o brillo
Propia



Img 26. Ensayo de corte o brillo [Fotografía]
Propia



2.2.1.5 Ensayo de sedimentación

Según Minke(2005) este ensayo es uno de los que más margen de error conlleva, este consiste en agitar una muestra de tierra dentro de un recipiente transparente con agua, esto por medio de la sedimentación producirá que las partículas más pesadas correspondientes a la arena y grava se ubiquen en la base seguidas en la parte superior de los limos y arcillas con lo cual se medirá las proporciones obtenidas.

2.2.1.6 Ensayo de caída de la bola

En este ensayo la muestra de tierra debe estar lo más seca posible, se agrega agua hasta que este lo suficientemente húmeda para formar una bola de 4 cm de diámetro, a continuación se deja caer a una altura de 1.5 m, si esta sufre poca o ninguna fisuración, significa que el contenido de arcilla es alto con lo que debe agregar arena, por otra parte si se descompone como la muestra tiene poco contenido de arcilla, por lo que no es bueno para la cons-

trucción, lo recomendable es que la bola se fisure y desprenda pequeños pedazos.

2.2.1.7 Ensayo de la pastilla

Con este ensayo se determinara la resistencia en seco, para esta necesitamos humedecer tierra y formar una pastilla de 5 cm de diámetro y 2 cm de espesor, se deja secar por 24 horas, una vez seca se coloca entre los dedos pulgar, índice y media con lo cual se presiona para tratar de romperlo; la tierra arcillosa es más difícil de romper que la arenosa.

2.2.1.8 Ensayo de cinta

Este ensayo determina el grado de plasticidad de la tierra, consiste en moldear un rollo de 1.5 cm de diámetro y a continuación se amasa hasta conseguir un perfil de 20 mm de ancho con altura de 6 mm con la ayuda de una mesa o simplemente con la mano se desplaza la cinta hasta que fracase, si se rompe después de 15 cm la mezcla es arcillosa y si se rompe a 5 cm es arenosa.



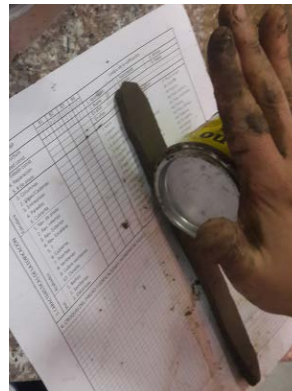
Img 26. Ensayo de sedimentación
Propia



Img 28 Ensayo de la pastilla
Propia



Img 27. Ensayo caída de la bola
Propia



Img 29. Ensayo de la cinta
Propia

2.2.2 Pruebas o ensayos de laboratorio

Las pruebas en laboratorio nos ayudaran a determinar las propiedades y características de los elementos con los que se trabajara en la ejecución de los paneles en bahareque, por lo que se considera el uso de las normas ASTM para agregados y madera, tales que componen la técnica de bahareque.

2.2.2.1 Ensayo de cuarteo

Todos los ensayos correspondientes a agregados parten de este, pues el objetivo de este ensayo es generar una muestra uniforme para mantener los resultados de la forma más uniforme posible correspondientes a la norma ASTM C702 - 98.

Equipos y materiales

Muestra requerida para ensayos

Cepillos

Lona plástica de 2x2 m

Procedimiento

Se coloca la muestra en la lona y se procede a voltear 3 veces la muestras, una vez mezclada se realiza una montón circular con un diámetro entre 4 a 8 veces el alto, a continuación se divide en 4 la muestra y se retira las extremos opuestos como indica la figura, este proceso se realiza hasta obtener la cantidad deseada para cada ensayo.

2.2.2.2 Ensayo de lavado

Este ensayo nos ayuda a determinar la cantidad exacta de arcilla presentes en la muestra de tierra, el ensayo debe ser realizado antes del granulométrico para evitar alteraciones como lo indica la norma ASTM C136. El ensayo será realizado siguiendo la norma ASTM C117 - 03 la cual permitirá saber por medio del lavado la cantidad de material que pasa por el tamiz N° 200, los valores obtenidos deberán ser sumados al material que paso el tamiz N° 200 en seco.

Equipos y materiales

Tamiz N° 200
Balanza de precisión 1 g y 0.01 g.
Agua de grifo
Horno a temperatura $105^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$
Muestra de 1000g de tierra

Procedimiento

Se toma una cantidad superior a los 1000 g de tierra obtenida del ensayo de cuarteo, procedemos a secarla en el horno a temperatura $105^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ por 24 horas, pesamos 1000 g y lo colocamos en un recipiente para que las partículas sean disgregadas, a continuación se coloca en el tamiz N° 200 y se procede a lavar, evitando presionar la muestra con la malla del tamiz hasta que el agua que pase se torne cristalina, una vez obtenida esta es secada en el horno a temperatura $105^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ por 24 horas, el material ya seco es pesado, para obtener la cantidad de material que paso el tamiz.



Img 30. Ensayo del cuarteo
Propia



Img 31. Ensayo de lavado
Propia



Img 32. Ensayo de granulometría
Propia



Img 33. Ensayo de granulometría
Propia

2.2.2.3 Ensayo de granulometría

Con este ensayo se determinará la distribución del tamaño de partículas presentes en una muestra de tierra con lo que podremos clasificar la composición, es decir la cantidad de arena, limos y arcillas. Este ensayo se realizará en base a la norma ASTM D422 - 63 para agregados finos.

Equipos y materiales

Muestra resultante de ensayo de lavado

Bandejas

Tamices No 4, 8, 16, 30, 50, 100, 200 y fondo.

Balanza de precisión 1g y 0.01g.

Horno a temperatura $105^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$

Cepillos

Procedimiento

Con la muestra resultante del ensayo de lavado, después de haber sido secada en el horno a $105^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ de temperatura por 24 horas, pesamos la muestra en la balanza de precisión de 0.01 g, se ordenan los tamices desde el N° 4 hasta el 200. Colocamos

en la tamizadora por 10 minutos, por último pesamos el material retenido en cada uno de los tamices, recordando que el material que paso el tamiz 200 debe ser sumado al material que paso en el ensayo de lavado.

2.2.2.4 Ensayo de contenido de humedad

Con este ensayo se determinará el contenido de humedad presente en una muestra de tierra. Utilizaremos el método tradicional que consta del secado por medio de un horno, donde la humedad de la tierra es la relación expresada en porcentaje entre el peso del agua existente en una determinada masa de suelo y el peso de las partículas sólidas.

$$\text{contenido de humedad} = \left(\frac{\text{peso húmedo} - \text{peso seco}}{\text{peso seco}} \right) \times 100$$

Equipos y materiales

3 muestra de 30 g de tierra

Balanza de precisión 1 g y 0.01 g.

Horno a temperatura $105^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$



Procedimiento

El procedimiento consta en tomar tres recipientes limpios, secos y correctamente identificados una muestra de 30 g de tierra a continuación se lo deja secar en un horno a temperatura $105^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ por 24 horas, luego se pesa cada una de las muestras y finalmente se realiza las fórmulas para determinar el contenido de humedad.

2.2.2.5 Ensayo de límite líquido

Con este ensayo se determina el límite líquido de una muestra de tierra, por medio de la determinación del contenido de humedad, al encontrarse en el límite entre el estado plástico y líquido, en comparación con la muestra secada en el horno.

Equipos y materiales

Tamiz N° 40
Cuchara o copa de Casagrande
Ranurador ASTM
Espátula
Capsulas

Martillo de goma

Balanza de precisión 1 g y 0.01 g.

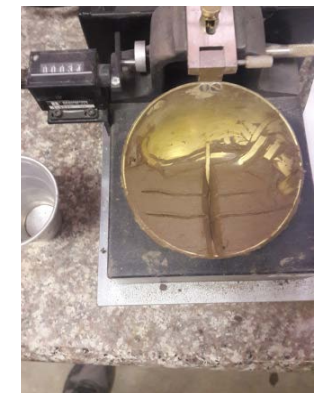
Horno a temperatura $105^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$

Procedimiento

Procedemos a triturar una muestra de tierra con un martillo de goma a continuación se tamiza con la criba N° 4 y pesamos 100 g para el ensayo, se mezcla con agua limpia hasta obtener una mezcla pastosa y homogénea. Colocamos con la espátula en la cuchara de Casagrande hasta obtener una altura de 10 mm y con el ranurador ASTM se divide en dos, formando un canal, nos aseguramos que la cuchara se eleve a una altura de un centímetro y se procede a encender el equipo a la velocidad de 2 golpes por segundo hasta que la pasta llegue a unirse una longitud de 13 mm, una vez hecho esto se toma 20 g de muestra para colocarlo en recipientes identificado previamente con su peso propio y se procede al secado en el horno a temperatura $105^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ por 24 horas, con esto obtendremos



Img 34. Material para límites de Atterberg
Propia



Img 35. Ensayo límite líquido
Propia



Img 36. Ensayo límite plástico
Propia



Img 37. Secado de muestras en horno
Propia

el contenido de humedad con el número de golpes correspondiente. Este ensayo debe ser repetido con número de golpes entre 15 -25 y 25 - 40 para poder graficar la curva correspondientes al límite líquido con la que determinaremos la humedad a los 25 golpes.

2.2.2.6 Ensayo de límite plástico

El ensayo de límite plástico determina el límite en el cual una muestra de arcillas pasa a ser un material no plástico. Según el método de Atterberg la plasticidad no es una propiedad fija en todas las arcillas, sino que depende mucho de la humedad que tenga la tierra.

Equipos y materiales

Tamiz N° 40
Espátula
Recipiente
Cápsula
Balanza de precisión 1 g y 0.01 g.
Horno a temperatura $105^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$

Procedimiento

El material con el que se realizara el ensayo será igual al utilizado para el límite líquido, es decir que haya pasado por la criba N° 40, la muestra deberá tener 20 g aproximadamente y se agregara agua hasta que permita formar una barra de 3 mm de diámetro, con la palma de la mano o la yema del pulgar, una vez alcanzado la medida indicada se procede a doblar la barra y repetir el mismo procedimiento hasta que la barra se disgregue a tamaños entre 0.5 y 1 cm y ya no pueda ser reamazado o reconstruido, la barra se coloca en 3 envases para ser pesados y secados, para determinar el contenido de humedad.

2.2.2.7 Ensayo de humedad en madera

Según la norma NEC el contenido de humedad de la madera es la cantidad de agua que contiene una pieza de madera en un momento dado, que se expresa como un porcentaje de su peso anhidro (estado de la madera, sin contenido de humedad).

Método Eléctrico: Por medio de un Xilohigrómetro que consiste en un circuito de resistencia eléctrica variable, que contiene una escala de humedad entre 0 y 100%. Este método nos permite determinar el contenido de humedad en piezas de madera aserrada hasta de 50mm de espesor, se deben realizar varias lecturas en diferentes sitios, este método es el más sencillo.



Img 38. Equipo de medición para humedad
Propia



Img 39. Ensayo de humedad en madera
Propia



Img 39. Ensayo de humedad en madera
Propia





2.3 DETERMINACIÓN DEL MODELO A ESCALA DE PROTOTIPOS EN BAHAREQUE

2.3.1 Selección de escala

Para el estudio a realizar se seleccionó una porción de la pared de bahareque (Grf. 08), basándonos en el sistema Bahareque de tierra contemporáneo (Carazas, Rivero, 2002.), además de adoptar las especificaciones sobre el dimensionamiento de los diferentes componentes del muro a escala real en la Norma NEC SE vivienda ecuatoriana.

La sección tomada del muro se delimita de parante a parante del muro, y al centro del mismo así evitando casos particulares, como las esquinas que requieren una diagonal de refuerzo.

El factor de escala que se utilizó fue el de 1/4, básicamente por razones constructivas y limitantes en cuanto a las dimensiones, debido al equipo disponible en el laboratorio, lo que no nos permite incrementar el factor de escala.

2.3.2 Variación en materialidad y medidas en la escala 1:4

Se utilizaron los mismos materiales en cada uno de los elementos que conforman un panel de bahareque, con ciertas excepciones que se describen a continuación.

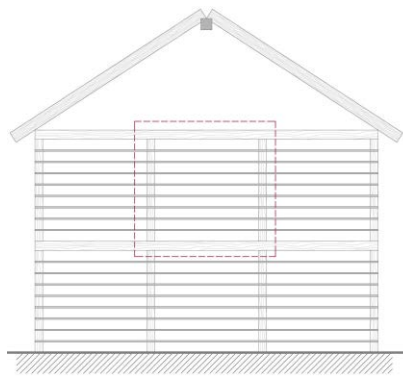
Solera y parantes

La materialidad de parantes y soleras se mantiene, siendo este la madera de Pino, el cual sus dimensiones se redujeron a una escala 1:4 manteniendo su similitud geométrica y material del modelo original.

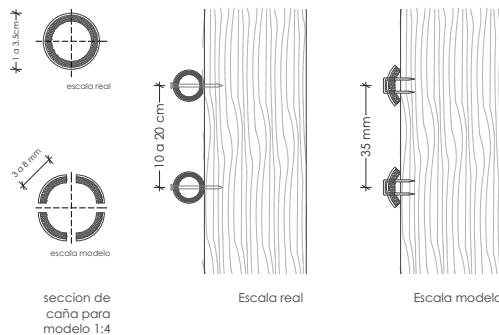
Unión solera y parante

En el sistema tradicional de bahareque por medio de estudios realizados por Pinos y Baculima (2014) titulada Recuperación del sistema constructivo en la técnica del bahareque en la contemporaneidad, se describe que la unión usualmente utilizada es la de caja y espiga, el mismo que se utilizó para los modelos a escala.





Grf 08 esquema de sección propuesta en muros a escala Propia



Grf 09 Detalle unión paramentos y carrizo en muros a escala Propia

Para dicha unión se dio cierta variación, debido al gran número de muestras, su escala y el tiempo limitado. Se simuló la unión caja espiga por medio de tarugos de pino manteniendo la materialidad del modelo original.

Enlatado

Debido a la dificultad de encontrar un material similar a escala 1/4, se optó por utilizar el mismo carrizo a escala real y se seccionó longitudinalmente en 4 partes dándonos cierta similitud a las condiciones originales del material (Grf. 09). La separación entre carrizo y carrizo se recomienda de 10 a 20 cm en escala real, para lo cual se tomó una media de 14 cm, que a escala resultó con una separación de 3.5 cm entre carrizos.

Unión enlatado estructura

En el sistema tradicional de bahareque el material generalmente utilizado es la cabuya o clavos. Para los modelos a escala debido a las medidas que se maneja y la

complejidad constructiva a esa escala. Se emuló dicha unión por medio de grapas de acero con un ancho de 10 mm (Gfr. 09). lo cual nos garantiza así una unión estable entre estos elementos similares al de la escala real.

Relleno

El material utilizado en el relleno no existe variación alguna con el material en su escala real, para el cual se utilizó tierra proporcionada por las adoberas del sector de Racar, previamente preparado con agua y realizado el proceso de "pudrimiento" o "dormido" como dicta las normas Peruanas E - 80 . A esta mezcla se le agregó paja seca, la misma se cortaba a una longitud de 5 cm, en una proporción de volumen de 40% de paja y 60% de barro consiguiendo así el material de relleno.



Empañete

Al igual que en el relleno la tierra fue previamente preparada por la adobera en Racar pero a diferencia del relleno se agrega a la mezcla estiércol de caballo sin ninguna modificación del cual se utiliza en escala normal, consiguiendo así la mezcla final a utilizar en el empañete, el cual tiene un espesor en escala real de 2 a 4 cm. En el caso de la escala 1:4 se optó por una medida de 2.5 a 5 mm de espesor para el empañete, esta medida no pudo ser fija ya que la superficie del relleno no era homogénea al secarse.

A continuación se muestra un resumen de las medidas utilizadas, tanto en escala normal y la escala utilizada para el estudio de las variables con sus variaciones.

Elemento	Dimensiones escala real	Dimensiones a escala de modelo	Materialidad
Solera superior e inferior	h= 20 cm b= 16 cm L= 2.12 m	h= 5 cm b= 4 cm L= 53 cm	Madera pino
Parantes	h= 14 cm b= 14 cm L= 1.8 m	h= 3.5 cm b= 3.5 cm L= 45 cm	Madera pino
Unión solera y parantes	D= 4 cm L= 24 cm	D= 10 mm L= 6 mm	Tarugos madera
Enlatado	Carrizo diámetro variable de 15 mm a 25mm, largo aproximado 3 m	1/4 de carrizo cortado longitudinalmente espesor variable 15 mm a 25 mm	Carrizo
Unión carrizo y estructura de madera	Clavos 50.8 mm	Grapas de acero 10 mm	Grapas de acero
Relleno	Tierra cruda + agua + paja L= 10 cm	Tierra cruda + agua + paja L= 2.5 cm	Tierra, agua y paja
Empañete	Tierra cruda x 1 parte estiércol de caballo x 1/2 parte espesor 1 a 2 cm	Tierra cruda x 1 parte estiércol de caballo x 1/2 parte espesor 2.5 mm	Tierra, agua y estiércol de caballo

Tab 02. Escalamiento de elementos para prototipos en bahareque Propia





2.4 PROPUESTAS DE VARIABLES GEOMÉTRICAS Y DISPOSICIÓN DE ELEMENTOS

El sistema constructivo de bahareque puede ser modificado de diversas maneras, muchas de ellas fueron ya analizadas anteriormente en los tipos de bahareque, teniendo implicancias en los elementos que lo conforman, en los materiales utilizados, entre otros. Para esta investigación lo que se busca son variaciones al sistema más aplicado a nivel local, siendo este el tradicional.

Las propuestas partirán manteniendo los materiales y la conformación del sistema tradicional el cual está compuesto por parantes y soleras como estructura principal y un enlatado horizontal (cañas dispuestas horizontalmente) con las cuales generaremos dos tipos de variables, una que comprende la geometría correspondientes a la estructura principal y otra en la disposición de elementos del enlatado (disposición de la caña).

Variación geométrica de la estructura

En este tipo de variable lo que se modificará será la separación entre parantes o la separación entre soleras, lo cual producirá una variación en la geometría del vano generado entre estos elementos, tomando en cuenta la trabajabilidad y las características de los equipos disponibles.

Variación en distribución del carrizo

Para este tipo de variación se modificará la disposición de los elementos del enlatado llamado también entramado, es decir que la caña será colocada en diferentes direcciones o disposiciones, en esta tomaremos en cuenta la cantidad de carrizo utilizada y la trabajabilidad puesto que la escala es reducida.





Img 42. Tipo A1-B1
Propia



Img 42. Tipo A2
Propia



Img 43. Tipo A3
Propia



Img 44. Tipo A4
Propia



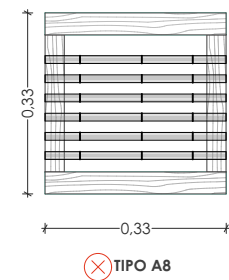
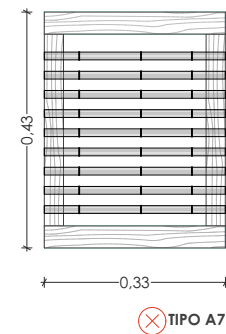
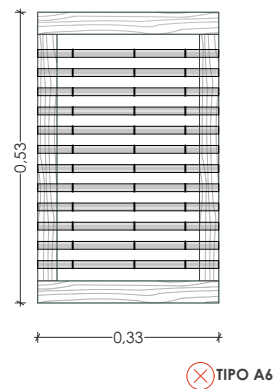
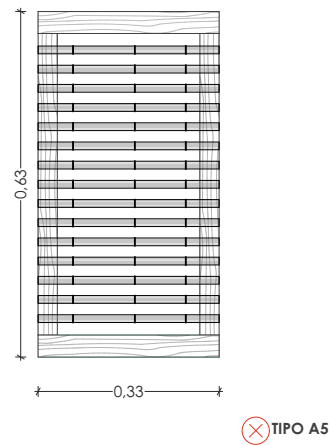
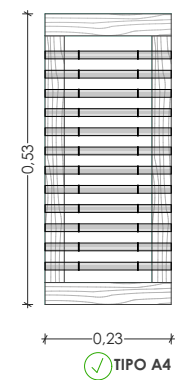
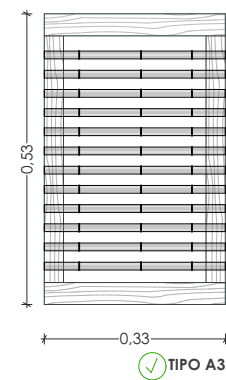
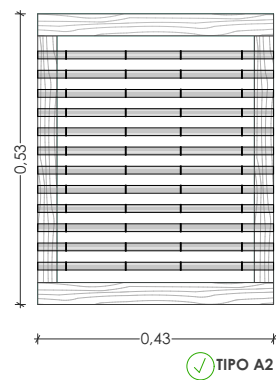
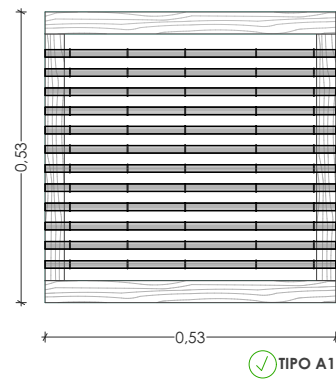
Img 45. Tipo B2
Propia



Img 46. Tipo B3
Propia



Img 47. Tipo B4
Propia



Grf 10. Propuestas variable de la estructura
Propia



2.4.1 Propuestas variable de la estructura

Criterios para propuesta de variables

Se propone 2 tipos de variaciones:

VARIACIÓN HORIZONTAL

Varia la distancia horizontal entre parantes de 10 en 10 cm sin modificar la medida de los componentes.

VARIACIÓN VERTICAL

Varia la distancia vertical entre solera superior e inferior de 10 en 10 cm sin afectar la medida de los componentes.

Limitantes para la selección de variables

- 1.- Dimensión máxima de diagonal 80 cm. Debido al equipo disponible del laboratorio.
- 2.- Dimensión mínima entre parante y parante por motivos constructivos. Separación mínima: 15 cm.
- 3.- Se restringe la altura del muro en escala real a 2.2 m ya que al variar la altura el espesor de los componentes varían.

Variable	Tipo de variación	Observaciones	Aprobación	Código
Tipo A1	Se varía la distancia entre los parantes del muro. Muro a escala 53cm Muro esc real 2.12m	Medida máxima posible para no exceder el limitante en la diagonal.	✓	H
Tipo A2	Se varía la distancia entre los parantes del muro. Muro a escala 43cm Muro esc real 1.72m	Ninguna	✓	C
Tipo A3	Se varía la distancia entre los parantes del muro. Muro a escala 33cm Muro esc real 1.32m	Ninguna	✓	B
Tipo A4	Se varía la distancia entre los parantes del muro. Muro a escala 23cm Muro esc real 0.92m	Medida mínima por limitante constructivo de la escala.	✓	A
Tipo A5	Se varía la distancia entre solera superior e inferior. Muro a escala 55cm Muro escala real 2.2m	Descartado por restricción en la medida vertical del muro 2.2 m.	✗	---
Tipo A6	Se varía la distancia entre solera superior e inferior. Muro a escala 45cm Muro escala real 1.8m	Descartado por restricción en la medida vertical del muro 2.2 m.	✗	---
Tipo A7	Se varía la distancia entre solera superior e inferior. Muro a escala 35cm Muro escala real 1.4m	Descartado por restricción en la medida vertical del muro 2.2 m.	✗	---
Tipo A8	Se varía la distancia entre solera superior e inferior. Muro a escala 25cm Muro escala real 1m	Descartado por restricción en la medida vertical del muro 2.2 m.	✗	---

Tab 03. Propuestas variable de la estructura
Propia

2.4.1.1 Espécimen H

Descripción

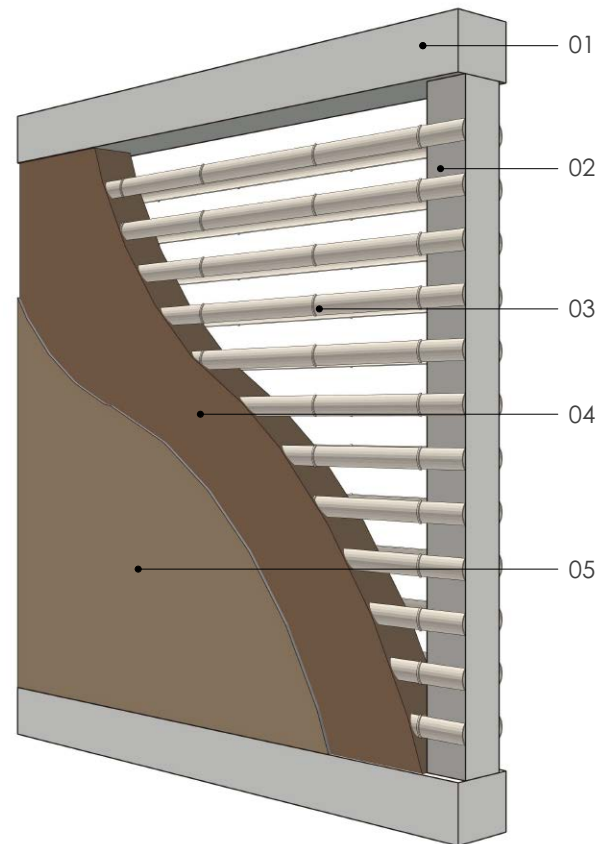
Panel con variación en la geometría de su estructura, por medio de la separación entre parantes los cuales varían de 10 cm en 10 cm.

Distancia entre parantes: 49.5 cm entre eje y eje.

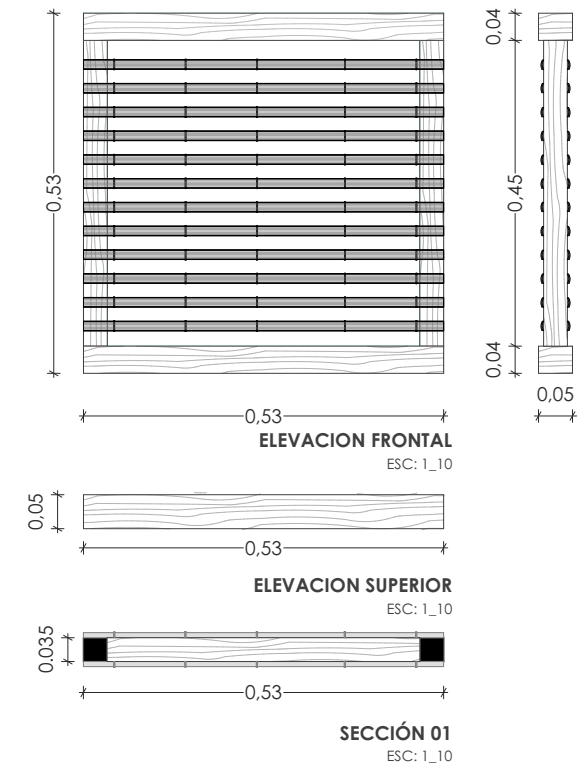
Enlatado de carrizo horizontal a con una separación de 3.5 cm.

Leyenda

- 1.- Solera superior, madera pino 5x4 cm
- 2.- Parante, madera pino 3,5x3,5 cm
- 3.- 1/4 de carrizo diámetro aproximado entre 1 a 2 cm
- 4.- Relleno de tierra cruda con paja
- 5.- Empañete (tierra cruda y estiércol de caballo)



Grf 11. Composición espécimen H
Propia



Grf 12. Dimensiones espécimen H
Propia



2.4.1.2 Espécimen C

Descripción

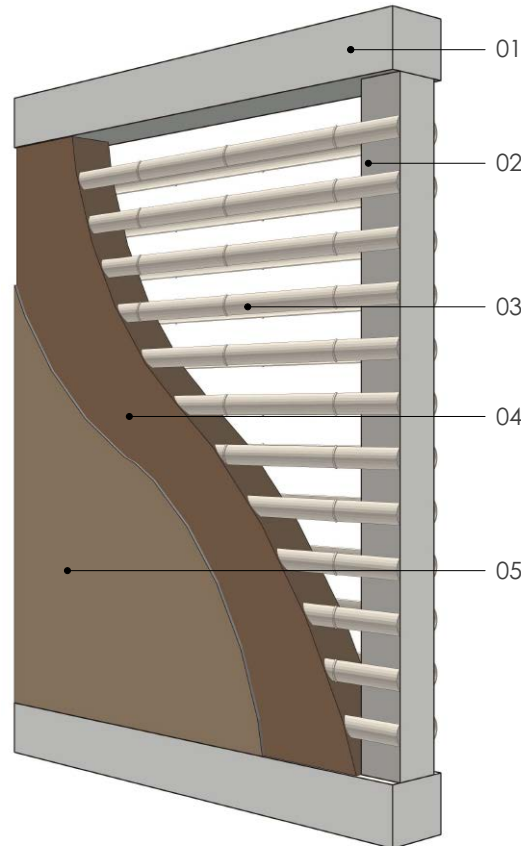
Panel con variación en la geometría de su estructura, por medio de la separación entre parantes los cuales varían de 10 cm en 10 cm.

Distancia entre parantes: 39.5 cm entre eje y eje.

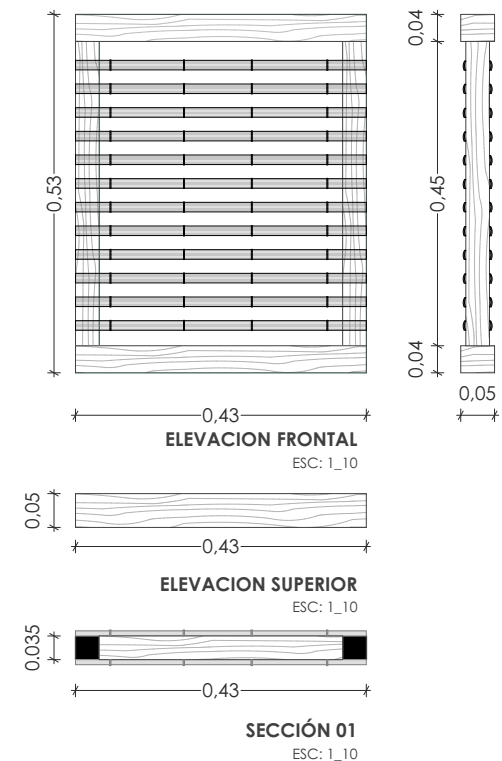
Enlatado de carrizo horizontal a sus caras con una separación de 3.5 cm.

Leyenda

- 1.- Solera superior, madera pino 5x4 cm
- 2.- Parante, madera pino 3,5x3,5 cm
- 3.- 1/4 de carrizo diámetro aproximado entre 1 a 2 cm
- 4.- Relleno de tierra cruda con paja
- 5.- Empañete (tierra cruda y estiércol de caballo)



Grf 13. Composición espécimen C
Propia



Grf 14. Dimensiones espécimen C
Propia

2.4.1.3 Espécimen B

Descripción

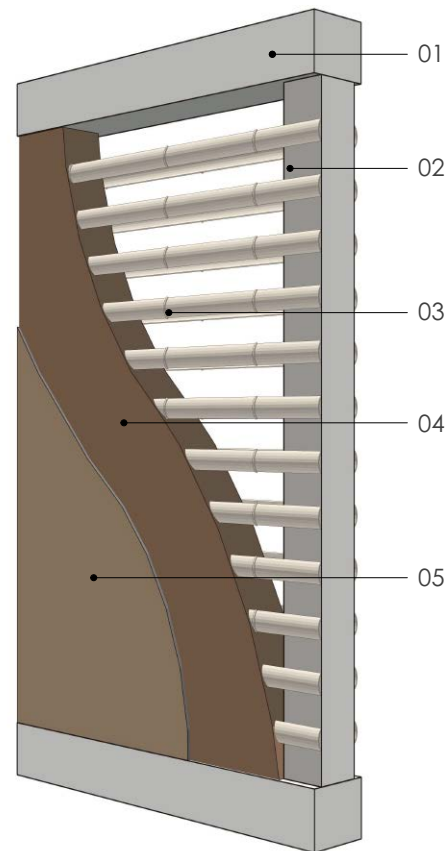
Panel con variación en la geometría de su estructura, por medio de la separación entre parantes los cuales varían de 10 cm en 10 cm.

Distancia entre parantes: 29.5 cm entre eje y eje.

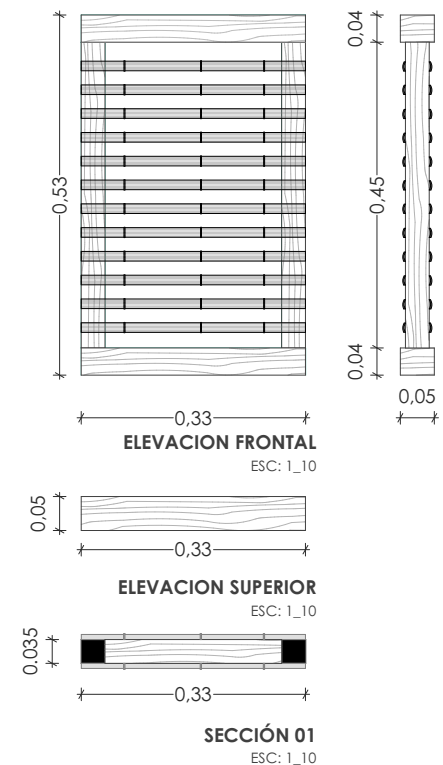
Enlatado de carrizo horizontal a sus caras con una separación de 3.5 cm.

Leyenda

- 1.- Solera superior, Madera pino 5x4 cm
- 2.- Parante, Madera pino 3,5x3,5 cm
- 3.- 1/4 de Carrizo diámetro aproximado entre 1 a 2 cm
- 4.- Relleno de Tierra cruda con paja
- 5.- Empañete (tierra cruda y estiércol de caballo)



Grf 15. Composición espécimen B
Propia



Grf 16. Dimensiones espécimen B
Propia



2.4.1.4 Espécimen A

Descripción

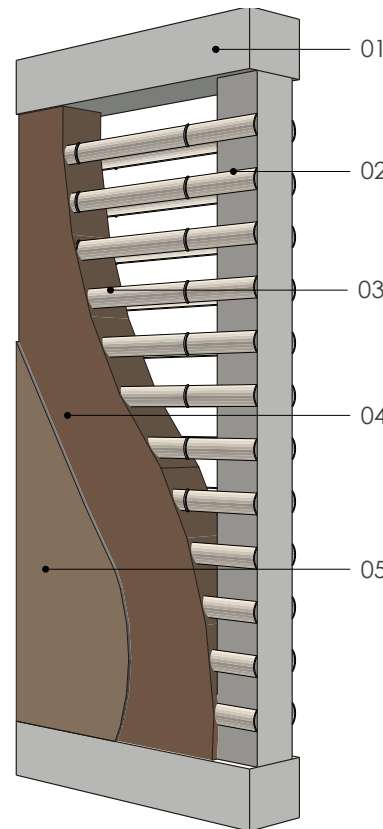
Panel con variación en la geometría de su estructura, por medio de la separación entre parantes los cuales varían de 10 cm en 10 cm.

Distancia entre parantes: 19.5 cm entre eje y eje.

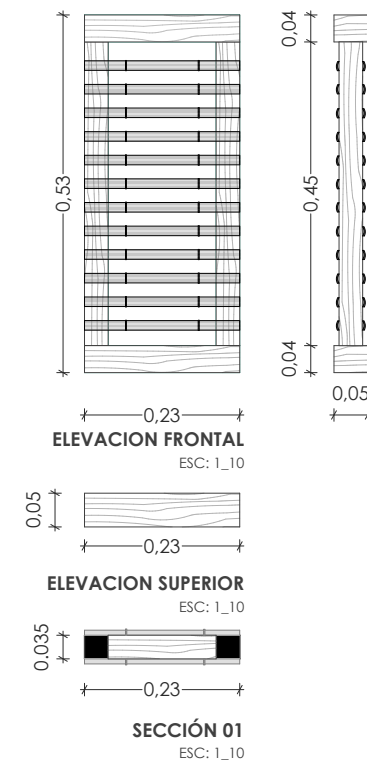
Enlatado de carrizo horizontal a sus caras con una separación de 3.5 cm.

Leyenda

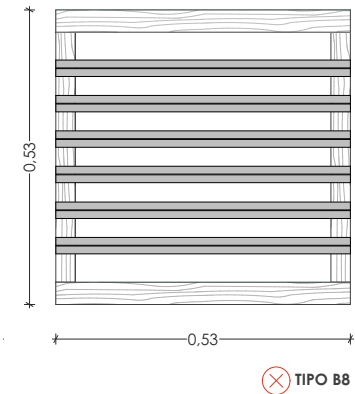
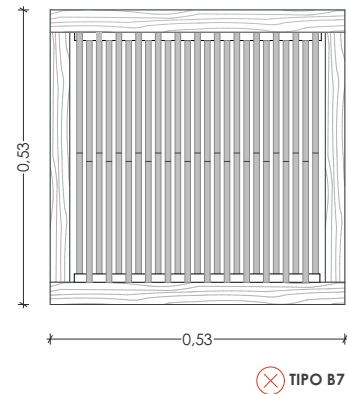
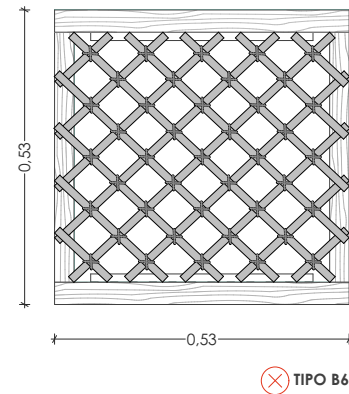
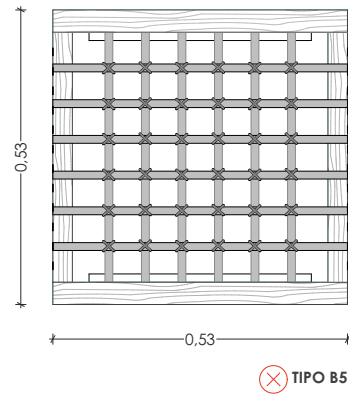
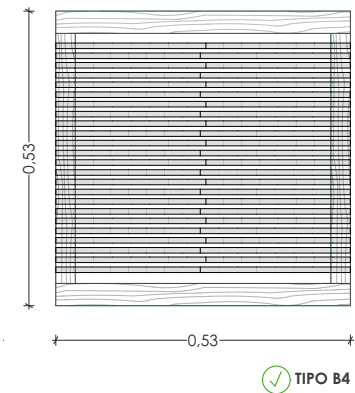
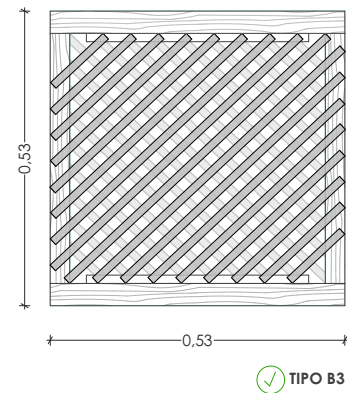
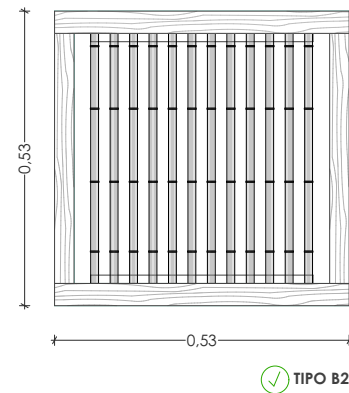
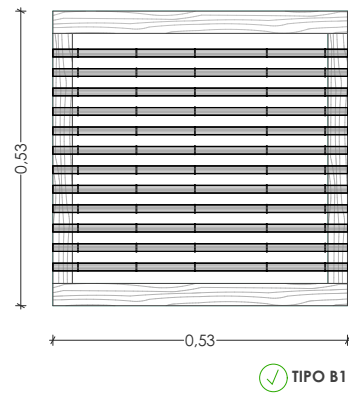
- 1.- Solera superior, Madera pino 5x4 cm
- 2.- Parante, Madera pino 3,5x3,5 cm
- 3.- 1/4 de Carrizo diámetro aproximado entre 1 a 2 cm
- 4.- Relleno de Tierra cruda con paja
- 5.- Empañete (tierra cruda y estiércol de caballo)



Grf 17. Composición espécimen A
Propia



Grf 18. Dimensiones espécimen A
Propia



Grf 19. Propuestas variable disposición del carrizo
Propia



2.4.2 Propuestas variable en disposición del carrizo

Criterios para propuesta de variables

- Se eligen las variaciones más comunes al construir bahareques, evitando la combinación de otros, por motivo de tiempo en la elaboración de los mismos.
- Se utilizará aproximadamente la misma cantidad en metros lineales de caña. la misma determinara la distancia de separación entre carrizo y carrizo.

Limitantes para la selección e variables

- Se analizaron diferentes tipos de uniones entre el carrizo y la estructura de madera como: cabuya, clavos, pegamento por lo cual se optó por variar el tipo de unión debido a la escala que se maneja,
- Para lograr la escala adecuada en el carrizo este se divide longitudinalmente en 4 partes.

Variable	Tipo de variación	Observaciones	Aprobación	Codigo
Tipo B1	Carrizo horizontal a la cara del muro, Con una separación de 3.5 cm en escala y 14 cm en escala real.	Distribución comúnmente utilizado alelaborar bahareques.	✓	H
Tipo B2	Carrizo Vertical a la cara del muro, con una separación de 3.5 cm en escala y 14 cm en escala real.	Distribución comúnmente utilizado alelaborar bahareques prefabricados.	✓	V
Tipo B3	Carrizo cruzado diagonal a la cara del muro, con una separación de 5 cm en escala y 20 cm en escala real.	Variación propuesta cambiando la dirección de sus cañas.	✓	D
Tipo B4	Carrizo horizontal a la cara del muro, cruzado de una cara a otra, con una separación de 2 cm en escala y 8 cm en escala real.	Variante del horizontal cruzando la caña de un lado de la cara del muro a otra. se aprueba debido al entramado cruzado.	✓	X
Tipo B5	Carrizo cruzado horizontal y vertical a la cara del muro, con una separación de 7cm a escala y 28 cm en escala real.	Es la combinación de 2 disposiciones de carrizo, motivo por el cual se descarta.	✗	---
Tipo B6	Carrizo cruzado diagonal perpendicular entre ellos, con una separación de 10cm a escala y 40 cm en escala real.	Es la combinación de 2 disposiciones de carrizo, motivo por el cual se descarta.	✗	---
Tipo B7	Carrizo vertical a la cara del muro, cruzado de una cara a otra. Con una separación media de 2 cm en escala y 8 cm en escala real.	Variante cruzada de la propuesta tipo 2, motivo por el cual se descarta.	✗	---
Tipo B8	Carrizo horizontal a la cara del muro, agrupados en pares y separados por una distancia de 7 cm a escala y 28 en escala real.	Variante por agrupación de la propuesta tipo 1, motivo por el cual se descarta.	✗	---

Tab 04. Propuestas variable en disposición del carrizo
Propia

2.4.2.1 Espécimen H

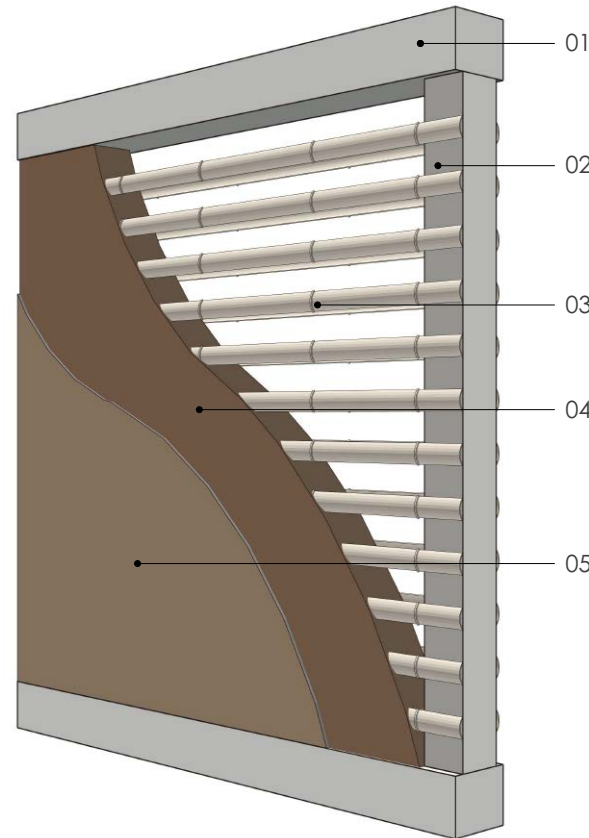
Descripción

Panel con variación en la distribución interna del carrizo, distribuido horizontalmente a sus caras con una separación de 3.5 cm.

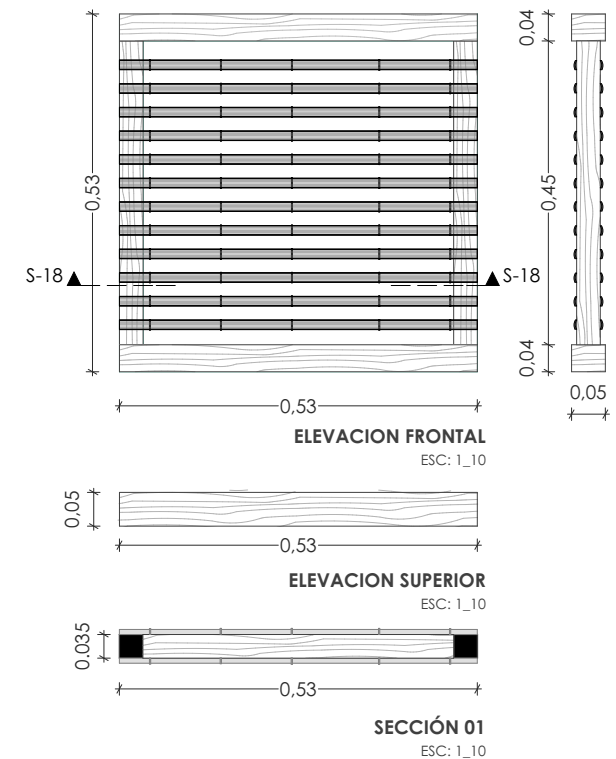
Cantidad de carrizo: 12.72 metros lineales.

Leyenda

- 1.- Solera superior, Madera pino 5x4 cm
- 2.- Parante, Madera pino 3,5x3,5 cm
- 3.- 1/4 de Carrizo diámetro aproximado entre 1 a 2 cm
- 4.- Relleno de Tierra cruda con paja
- 5.- Empañete (tierra cruda y estiércol de caballo)



Grf 11. Composición espécimen H
Propia



Grf 12. Dimensiones espécimen H
Propia

2.4.2.2 Espécimen V

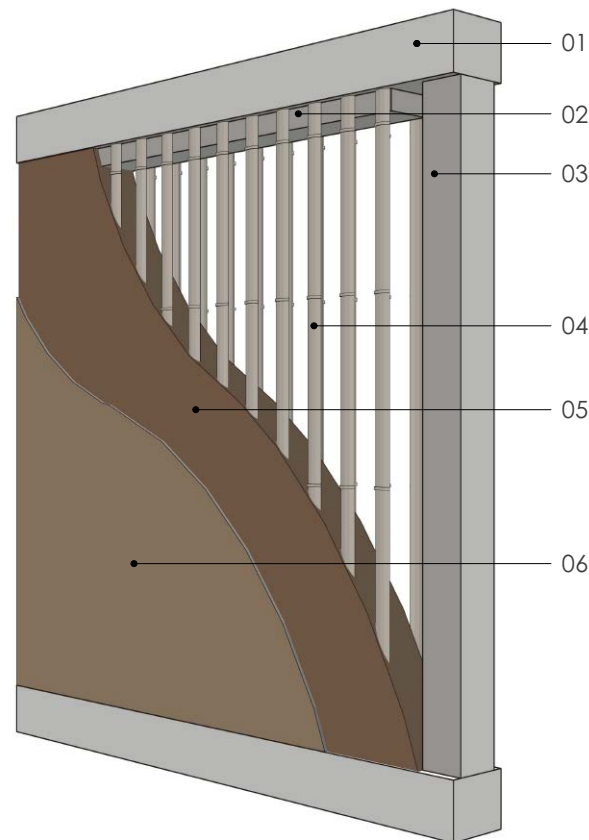
Descripción

Panel con variación en la distribución interna del carrizo, distribuido verticalmente a sus caras con una separación de 3.5 cm.

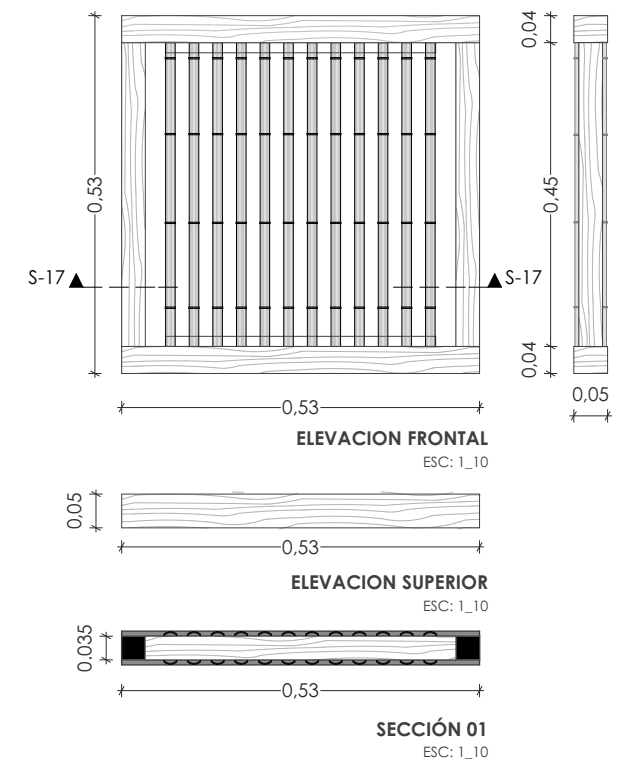
Cantidad de carrizo: 10.08 metros lineales.

Leyenda

- 1.- Solera superior, madera pino 5x4 cm
- 2.- Soporte para carrizo vertical, madera pino 40x1.5x3.5 cm
- 3.- Parante, Madera pino 3,5x3,5 cm
- 4.- 1/4 de Carrizo diámetro aproximado entre 1 a 2 cm
- 5.- Relleno de Tierra cruda con paja
- 6.- Empañete (tierra cruda y estiércol de caballo)



Grf 20. Composición espécimen V
Propia



Grf 21. Dimensiones espécimen V
Propia

2.4.2.3 Espécimen D

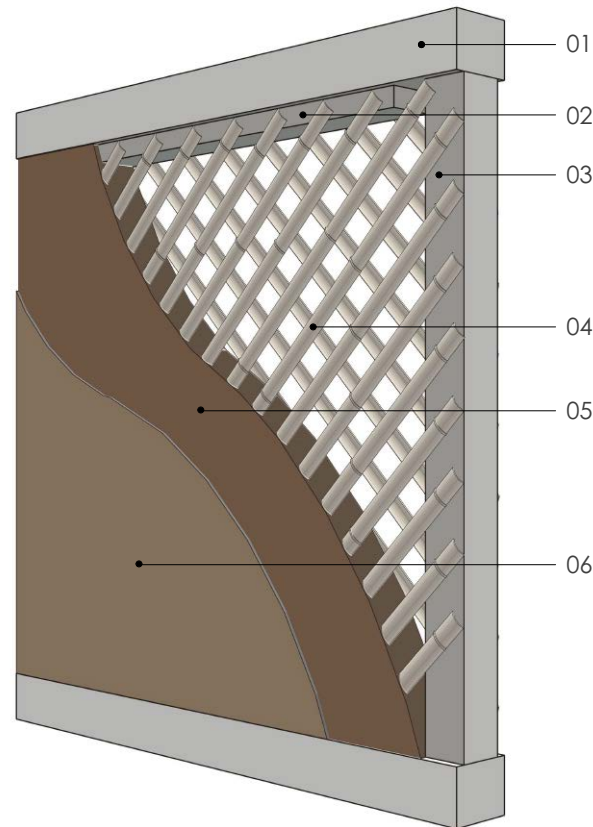
Descripción

Panel con variación en la distribución interna del carrizo, distribuido diagonal a sus caras con una separación de 5 cm.

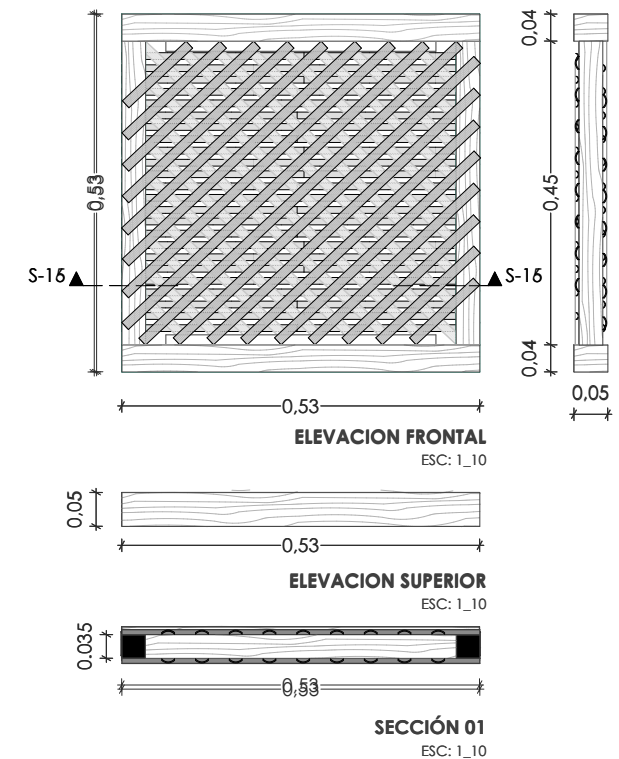
Cantidad de Carrizo: 13.11 metros lineales.

Leyenda

- 1.- Solera superior, madera pino 5x4 cm
- 2.- Soporte para carrizo vertical, madera pino 40x1.5x3.5 cm
- 3.- Parante, Madera pino 3,5x3,5 cm
- 4.- 1/4 de Carrizo diámetro aproximado entre 1 a 2 cm
- 5.- Relleno de Tierra cruda con paja
- 6.- Empañete (tierra cruda y estiércol de caballo)



Grf 22. Composición espécimen D
Propia



Grf 23. Dimensiones espécimen D
Propia

2.4.2.4 Espécimen X

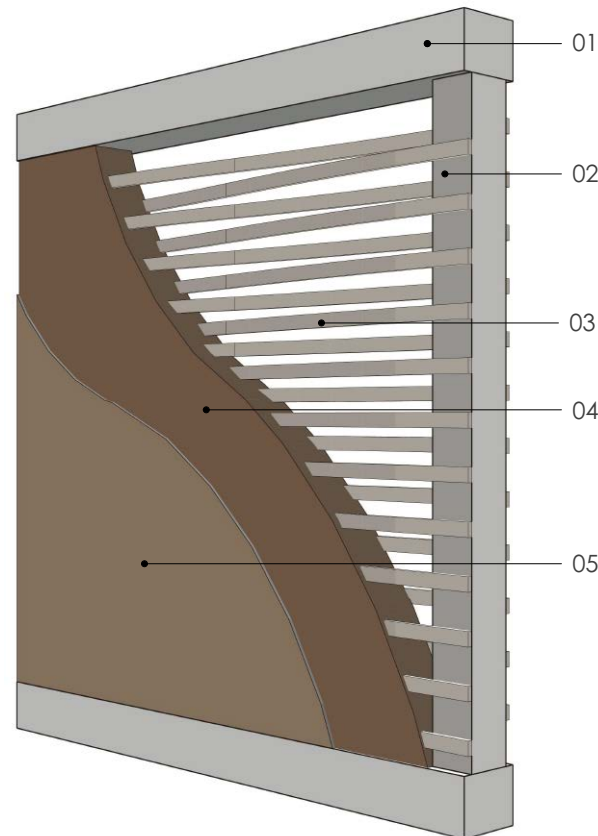
Descripción

Panel con variación en la distribución interna del carrizo, distribuido horizontalmente a sus caras y cruzado entre ellas con una separación de 1.7 cm.

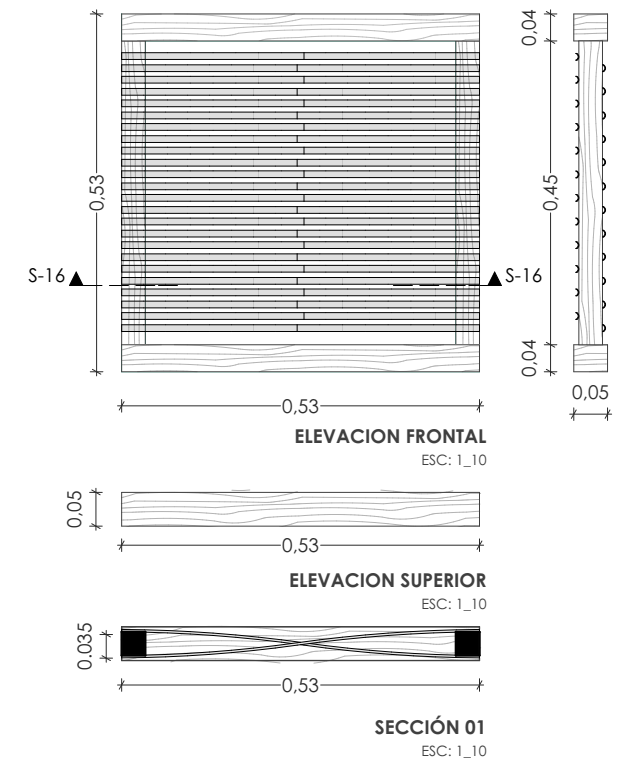
Cantidad de carrizo: 12.72 metros lineales.

Leyenda

- 1.- Solera superior, Madera pino 5x4 cm
- 2.- Parante, Madera pino 3,5x3,5 cm
- 3.- 1/4 de Carrizo diámetro aproximado entre 1 a 2 cm
- 4.- Relleno de Tierra cruda con paja
- 5.- Empañete (tierra cruda y estiercol de caballo)



Grf 24. Composición espécimen X
Propia



Grf 25. Dimensiones espécimen X
Propia



2.5 PROCESO CONSTRUCTIVO DE ESPECÍMENES EN BAHAREQUE

La construcción de los especímenes en bahareque deberán ser lo más parecidos a una construcción real de muros en bahareque, pero que a su vez nos permita asegurar la similitud en los 4 especímenes del mismo tipo.

Otra de las características a tomar en cuenta al momento de la construcción, es el tipo de unión, ya que esta actuará en gran escala, al tratarse de un elemento articulado, característica importante del sistema en bahareque, dichas uniones como el caja y espiga se mantuvieron pero con variaciones que facilitasen la composición de los especímenes a escala, pero otra como la cabuya fue remplazada por cuestiones indicadas más adelante.

En cuanto a los materiales son los mismos utilizados en la construcción de muros de bahareque, simplemente toman la medida de la escala indicada anteriormente siendo esta 1:4, el único de los materiales

que cambia de cierta manera es la caña en la cual su sección es dividida en 4, esta característica se mantiene en todos los tipos de espécimen sean estos de variables geométricas o disposición de elementos. En cuanto al material de tierra, mantiene las mismas características de una tierra de relleno a escala real.

Las etapas principales para la construcción de los especímenes pueden ser divididos en las siguientes:

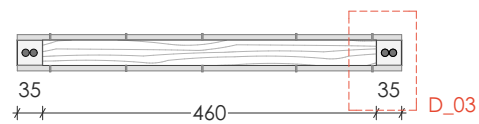
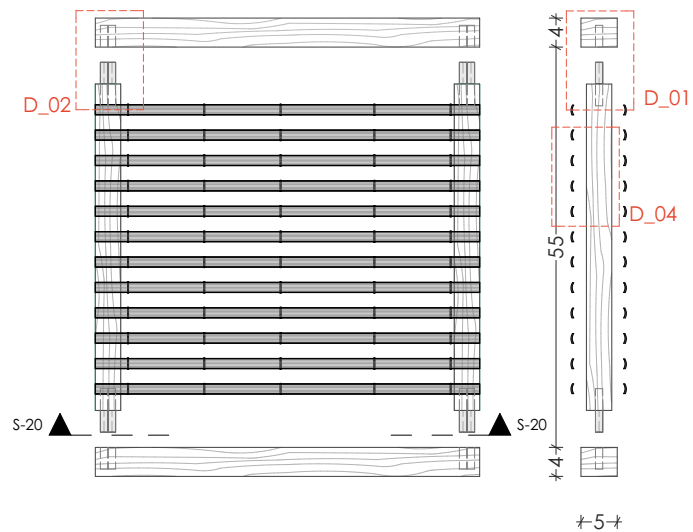
Estructura: armado del marco correspondiente a las soleras y parantes.

Enlatado: unión de las cañas con los pies derechos y soleras dependiendo el tipo de espécimen.

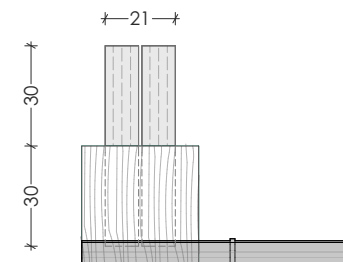
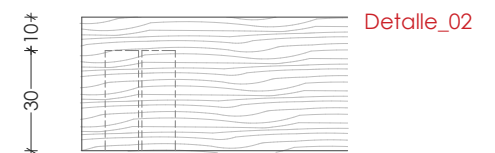
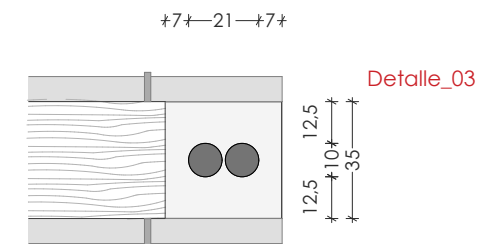
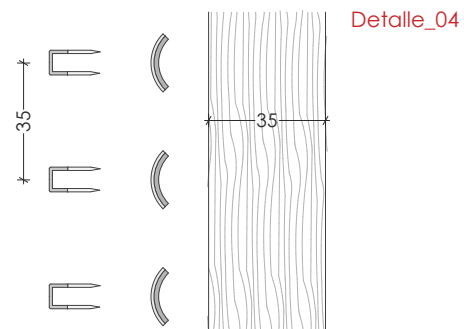
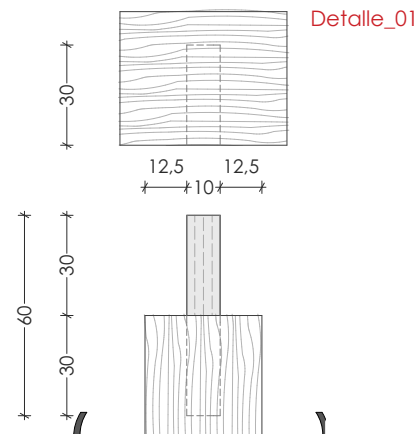
Relleno: colocación de material de tierra con fibra natural (paja).

Empañete: recubrimiento de los muros con





Sección S_20
ESC_ 1:10



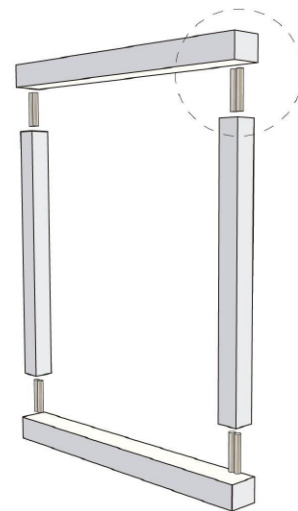
Grf 26. Detalles constructivos de uniones
Propia

2.5.1 Estructura

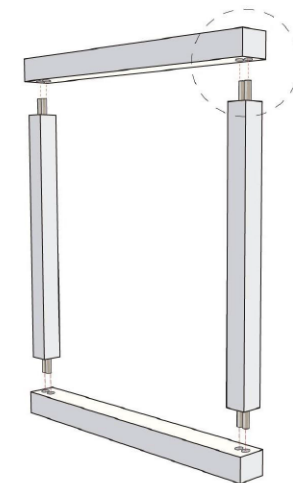
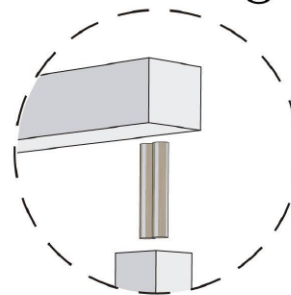
Con los elementos ya obtenidos previamente, se realiza orificios de 12 mm tanto en las soleras superior e inferior, como en los parantes. Seguido se coloca pega industrial en los orificios y se insertan los tarugos por medio de un martillo, logrando así la unión de los elementos similar al sistema tradicional utilizado de caja espiga, ilustradas en la norma INEN de vivienda de hasta dos pisos. Una vez concluido este proceso se deja secar por 24 horas para lograr una unión estable.

Materiales

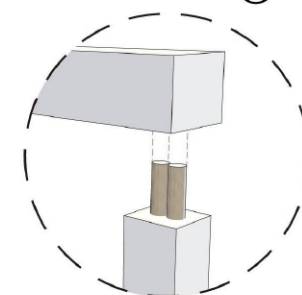
- 1.- Solera superior, Madera pino 5x4 cm
- 2.- Tarugo diámetro de 10 mm
- 3.- Parante, Madera pino 3,5x3,5 cm
- 4.- Goma blanca industrial.
- 5.- 1/4 de Carrizo diámetro aproximado entre 1 a 2 cm
- 6.- Grapas de 10mm de ancho



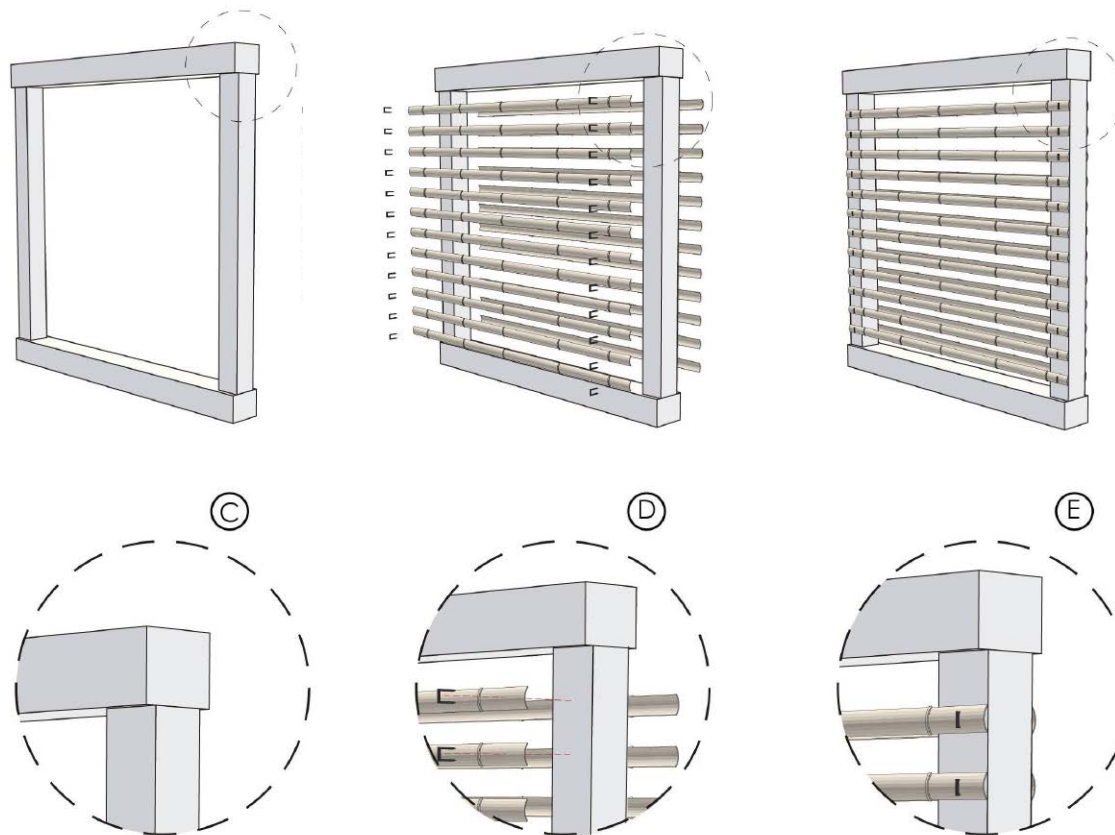
(A)



(B)



Grf 27. Armado de la estructura
Propia



Grf 28. Enlatado de carrizo
Propia

2.5.2 Enlatado

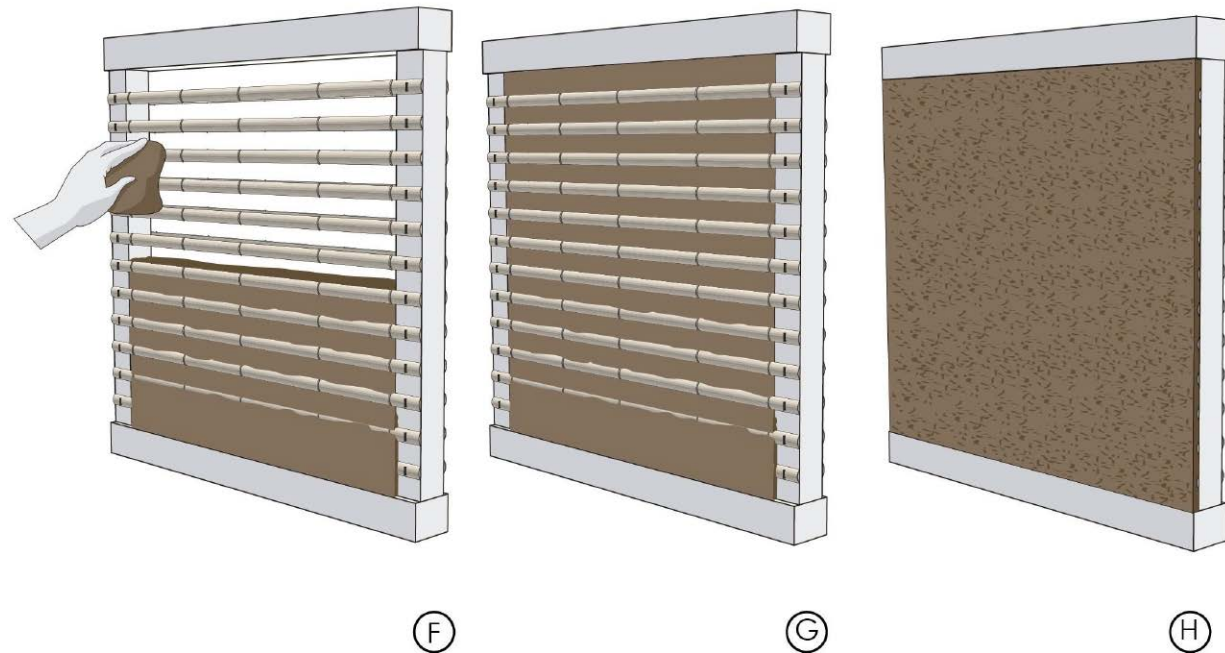
Para el enlatado se optó en dividir los carrizos en 4 partes longitudinalmente, para así lograr la escala ya propuesta 1:4. Los cuales se anclaron al marco de madera con grapas para tendido eléctrico de 10 mm, por medio de un martillo.

Se optaron diversas opciones de unión: pegamento, cabuya, clavos y grapas de los cuales el que mejor se adaptó a la escala propuesta fueron las grapas ya que el: pegamento (poca adherencia entre madera y el carrizo), cabuya (requiere largos periodos de tiempo para su realización además de presentar un deslizamiento del carrizo con el parante al estar sujeto a solo 2 parantes), clavos (fragmenta la caña reduciendo su adherencia) La distancia entre carrizo y carrizo en escala real es de 10 a 20 cm (Minke, 2005). Para la cual se eligió una media de 14 cm esta transformada a la escala 1:4 nos da 3.5 cm. medida con la cual se trabajó en los prototipos a escala.

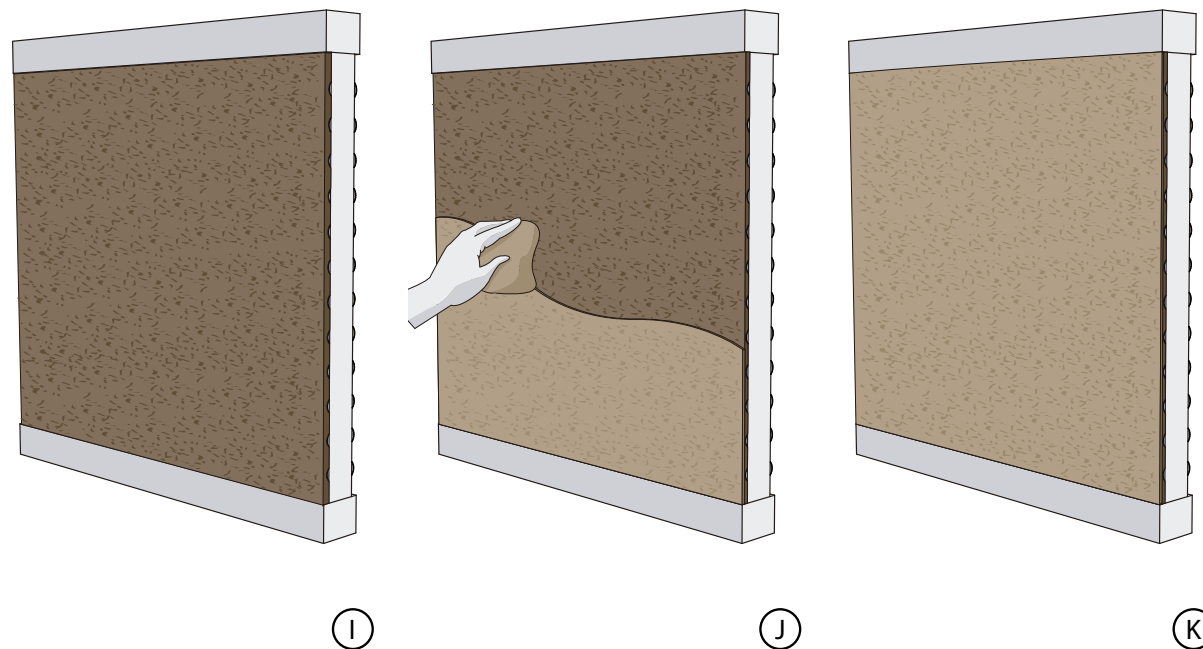
2.5.3 Relleno

Para la obtención de la tierra uno de los materiales que conforman el relleno tradicional: tierra cruda, fibra natural y agua. Se consultó una comparación de diversas adoberas en la zona de Cuenca, en la tesis de "Caracterización física y mecánica del adobe" (Aguilar, Quezada, 2017). Dándonos los mejores resultados una adobera en la parroquia de Racar. De la cual se obtuvo la tierra ya curada y mezclada por caballos. En el caso de la paja se utilizó paja común seca, esta se mezcló con la tierra con las siguientes proporciones: 2/3 partes de tierra cruda curada con 1/3 de volumen de paja cortada en segmentos de 3 cm. Esta mezcla se deja reposar por 4 días antes de rellenar los paneles.

Una vez curada la mezcla del relleno se procede a introducir la tierra entre el enlataado del muro y comprimirlo con la mano, dejando una superficie lo más uniforme la cual debe cubrir las cañas, para posteriormente proceder con el empañete.



Grf 29. Relleno con material de tierra y paja
Propia



Grf 30. Empañetado con material de tierra y guano
Propia

2.5.4 Empañete

El material para el empañetado de los muros de la misma forma como el relleno, fue recolectado de la misma adobera de la parroquia de Racar, la cual consistía en una tierra de apariencia clara y con alto contenido de arcilla.

La tierra fue mezclada con guano de caballo, lo cual mejora la calidad del compuesto y a su vez evita las micro fisuras, en una proporción correspondiente al 60% de tierra y 40% de guano. El agua fue mezclada gradualmente hasta conseguir una consistencia, que nos permitiese trabajar.

Esta mezcla fue revocada a mano en la cara de los muros, con un espesor de 6 mm buscando que la cara quede lo más uniforme posible.



2.6 PRUEBAS MECÁNICAS DE ESPECÍMENES EN BAHAREQUE

Para las pruebas mecánicas de los especímenes en bahareque, se tomó como referencia el procedimiento y metodología para ensayar muros en tapial y adobe que se presentan en la norma E.080, esto a falta de una metodología para pruebas de especímenes en bahareque.

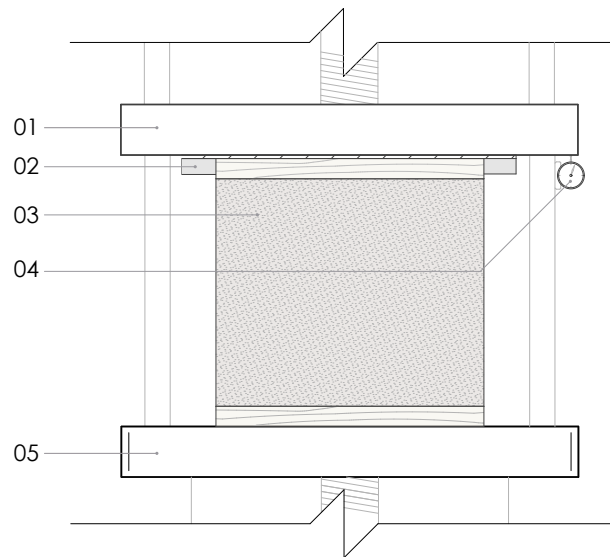
La norma E.080 indica que se debe realizar 6 especímenes, y que de estos se toma en cuenta a los 4 que mejores resultados presentan, al observar que los resultados se asemejaban uno de otro se optó por la fabricación de 4 especímenes, para cada tipo de variable propuesta.

Las pruebas mecánicas a las que se someterá los especímenes serán, compresión axial y compresión diagonal.

En total se realizara la prueba de 28 especímenes a compresión axial y otros 28 para la compresión diagonal.

Para dichas pruebas se utilizará la máquina universal de ensayos del laboratorio de suelos de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Cuenca. Esta máquina presentaba un desnivel de la mesa superior móvil, esto afectaría de cierta manera los ensayos a compresión axial, por lo que se colocó un perfil c en la parte superior y otro en uno de los extremos para corregir dicho desnivel. En cuanto a las pruebas de compresión diagonal se fabricó soportes que se colocarán uno en la mesa móvil inferior y otra en la superior para asegurar la acción de la carga en dirección de la diagonal del espécimen.





- 01.- Mesa móvil superior
- 02.- Perfil C de acero
- 03.- Muro de bahareque
- 04.- Deformímetro
- 05.- Mesa móvil inferior

Grf 31. Esquema ensayo resistencia de espécimen a compresión axial
Propia

2.6.1 Pruebas a compresión axial

Materiales utilizados

- Deformímetro precisión 0.001 in
- Máquina universal de ensayos
- Nivel
- Flexómetro
- Perfil de acero
- Balanza

Procedimiento

- 1.- Previamente cada espécimen a ensayar: se pesa, mide y se verifica que sus caras superior e inferior estén niveladas.
- 2.- Se marcan los centros de las caras lateral y frontal del muro.
- 3.- Se coloca el muro en la prensa, centrando la misma, por medio de las marcas realizadas previamente.
- 4.- Se coloca el perfil de acero sobre el muro.
- 5.- Se verifica la verticalidad del muro por medio del nivel, tanto para cara frontal y lateral del muro.

6.- Se procede a bajar la placa fija de la máquina hasta que la superficie haga contacto con el espécimen.

7.- Se coloca el deformímetro, el cual después de que haga contacto se coloca la marca en cero.

8.- Después de que la máquina hizo contacto con el espécimen marcara una carga inicial, esta será reseteada para inicial de cero.

9.- Se procede a dar una velocidad inicial a la carga, la misma que facilite la obtención de los datos.

10.- Se recogen visualmente los datos cada 0.005 pulgadas, las mismas serán anotadas en tablas previamente realizadas.

11.- Una vez llegado al punto máximo de carga se siguen tomando datos hasta que este baje aproximadamente un 40% de la misma.

12.- Para concluir se retira la carga para liberar el espécimen y retirarlo, para realizar la limpieza de la máquina de ensayos.

2.6.2 Pruebas a compresión diagonal

Materiales utilizados

- Deformímetro precisión 0.001 in
- Máquina universal de ensayos
- Nivel
- Flexómetro
- Perfil de acero
- Balanza

Procedimiento:

- 1.- Previamente cada espécimen a ensayar se pesa, mide y se verifica que sus caras superior e inferior estén niveladas.
- 2.- Se marcan la diagonal del muro.
- 3.- Se coloca el muro en la prensa, asentando el vértice inferior en el perfil de acero, la cual se centra, por medio de las marcas realizadas previamente en la máquina.
- 4.- Se coloca el perfil L de acero sobre el vértice superior del muro.
- 5.- Se verifica la verticalidad del a diagonal del muro por medio del nivel.

6.- Se procede a bajar la placa fija de la máquina hasta que la superficie haga contacto con el espécimen.

7.- Se coloca el deformímetro, el cual después de que haga contacto se coloca la marca en cero.

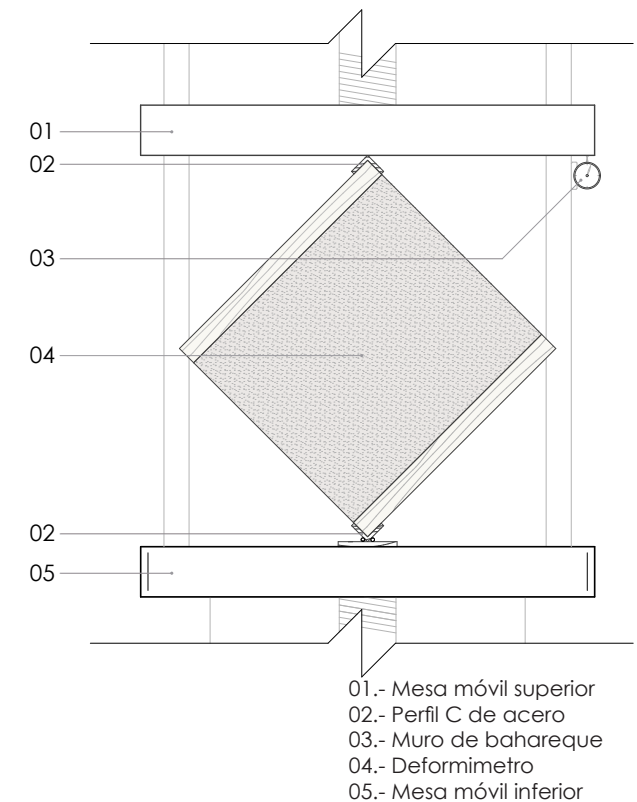
8.- Después de que la máquina hizo contacto con el espécimen marcara una carga inicial, esta sera reseteada para inicial de cero.

9.- Se procede a dar una velocidad inicial a la carga, la misma que facilite la obtención de los datos.

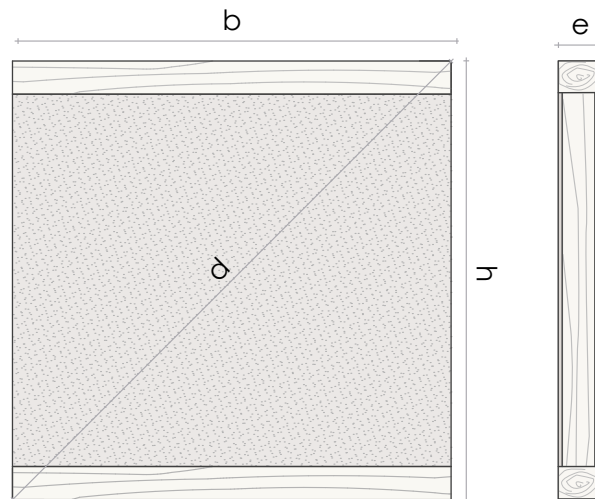
10.- Se recogen visualmente los datos cada 0.01 pulgadas, las mismas serán anotadas en tablas previamente realizadas.

11.- Una vez llegado al punto máximo de carga se siguen tomando datos hasta que este baje aproximadamente un 40% de la misma.

12.- Para concluir se retira la carga para liberar el espécimen y retirarlo, para realizar la limpieza de la máquina de ensayos.



Grf 32. Esquema ensayo resistencia de espécimen a compresión diagonal
Propia



b = Ancho
h = Alto
d = Diagonal
e = Espesor

2.6.3 Fórmulas Utilizadas

Compresión Axial

1 – Ecuación esfuerzo nominal

$$f = \frac{P_{max}}{A} = \frac{P_{max}}{b * e} \quad (1)$$

f = Esfuerzo
Pmax = Carga máxima
A = Área de carga
b = Ancho del muro
e = Espesor del muro

Compresión Diagonal

2- Ecuación resistencia de corte nominal (murete cuadrado)

3- Ecuación resistencia de corte nominal (murete rectangular)

$$f_{qN} = \frac{P_{max}}{\sqrt{2} * A} \quad (2)$$

$$f_{qN} = \frac{P_{max}}{A_d} = \frac{P_{max}}{d * e} \quad (3)$$

f qN = Resistencia al corte nominal
Pmax = Carga máxima
A = Área de la sección del muro
Ad = Área sección diagonal
d = Diagonal
e = Espesor del muro

Grf 33. Esquema Nomenclatura de medidas en muro de bahareque
Propia

INTRODUCCIÓN

En el capítulo se analizarán los resultados obtenidos después de ensayar los prototipos en bahareque, concluyendo con la identificación de los mejores prototipos, recomendaciones y lineamientos para la construcción de los muros de bahareque.



CAPITULO 03

ANÁLISIS Y
COMPARACIÓN DE RESULTADOS

3.1 RESULTADOS EN PRUEBAS DE COMPRESIÓN AXIAL

Una vez contruidos los muros de bahareque según se explica en el capítulo 2, cada espécimen se sometió a pruebas de compresión axial y diagonal. Los ensayos a compresión axial fueron realizados a base de la normativa peruana E -80 en la sección “Ensayo de Compresión. Muretes de adobe o tapia”, la cuales fueron adaptadas a los muros de bahareque, debido a la inexistencia de normas a este tipo de sistema constructivo para pruebas de laboratorio.

Para elaborar la gráfica esfuerzo deformación se recogieron los datos que nos daba la maquina universal de ensayos, manualmente cada 0.005 pulgadas que marcaba el deformímetro. Lo cual nos permitió obtener una gran cantidad de datos aproximadamente 270, dependiendo del muro, los cuales fueron suficientes para realizar la gráfica esfuerzo deformación.

3.1.1 Análisis de gráficas esfuerzo deformación

En general los datos recogidos una vez realizadas las pruebas de compresión axial, muestran una variación significativa entre los resultados de los 4 especímenes en cada tipo de muro, como se puede observar en las graficos 34-37. Esto en cierta medida a la variación de sus características al ser un material compuesto y no isotrópico.

Además de que su sistema constructivo dificulta obtener especímenes homogéneos debido al gran número de muestras. Ya sea por la obtención de materia prima que tengan las mismas características como la tierra, caña o la madera, o la elaboración de uniones entre cada elemento del muro, al momento de la fabricación se buscó realizar los especímenes con la mayor similitud posible para obtener los mejores resultados en los ensayos.





Al inicio del ensayo en varios especímenes, en la gráfica esfuerzo deformación se observa la diferencia entre sus cargas iniciales debido a que la misma no inicia con una carga 0 ya que el equipamiento del laboratorio no permite graduar esta medida en 0 provocando pérdida de resistencia en los especímenes. Además, cabe señalar que la máquina universal de ensayos tenía cierta desviación en el cabezal superior lo cual se solucionó con una platina de acero con la medida de la desviación.

Durante el ensayo se observó que en ciertos tramos existe un acoplamiento de las piezas para resistir la carga, provocando un decrecimiento en su resistencia, seguidamente al acoplarse retoma la carga lo cual crea escalones en la gráfica esfuerzo deformación. Como se puede observar notablemente en los especímenes A08, B05 (Grf. 35-36) respectivamente.

Variable geométrica de la estructura

Todas las gráficas esfuerzo deformación presentan un similar comportamiento en los diferentes especímenes tipo, el cual tiene un claro crecimiento de su módulo de elasticidad al inicio, aproximadamente del 10% al 20% dependiendo del espécimen tipo, el cual seguidamente disminuye hasta llegar al punto de fracaso.

Los especímenes del Tipo A presentan un comportamiento similar en la gráfica esfuerzo deformación a excepción del espécimen A08 lo que puede ser debido a los problemas ya descritos anteriormente. Los especímenes del Tipo B presentan un comportamiento similar en la gráfica esfuerzo deformación a excepción del espécimen B08, el cual se deforma aproximadamente un 50% más a comparación de la deformación promedio.

Los especímenes del Tipo C presentan un comportamiento similar en la gráfica esfuerzo deformación a excepción del espécimen C08 el cual se deforma aproximadamente un 38% más a comparación de la deformación promedio.

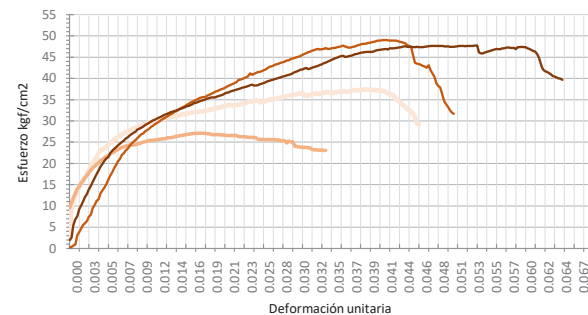
Los especímenes del Tipo H cada una de ellas presentan un comportamiento similar en la gráfica esfuerzo deformación sin excepción.

Variable de la disposición del carrizo

Las gráficas esfuerzo deformación de los especímenes tipo H, D, X presentan un comportamiento similar en los diferentes especímenes tipo, el cual tiene un claro crecimiento de su módulo de elasticidad al inicio de la gráfica, aproximadamente del 10% al 20% dependiendo del espécimen tipo, que seguidamente disminuye hasta llegar al punto de fracaso (Grf. 34-37).

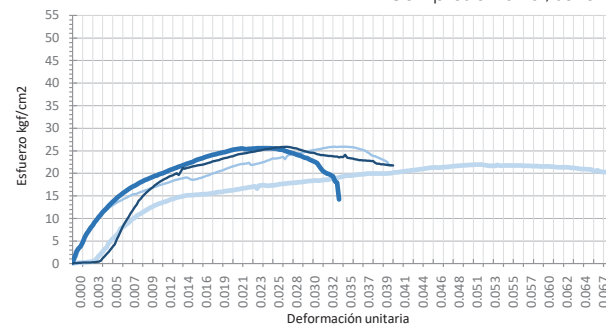
El espécimen tipo V presenta un comportamiento diferente a los otros especímenes tipo, en su gráfica esfuerzo deformación. En el cual se puede observar que su carga crece linealmente hasta el 25% de su deformación máxima, seguido cambia drásticamente presentando un comportamiento escalonado sin un crecimiento considerable (Grf. 39).

Por medio de observaciones al momento de realizar los ensayos, se pudo apreciar que una vez los pies derechos del muro fracasan, el carrizo al estar alineado perpendicularmente a la carga estas empiezan a trabajar, posteriormente una a una fracasan, motivo por el cual se da dicho comportamiento en su gráfica esfuerzo deformación de los especímenes tipo V.



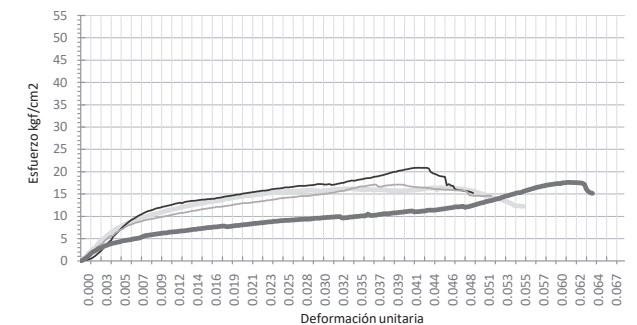
A02 A03 A06 A08

Grf 34. Curva esfuerzo deformación
Compresión axial, serie A



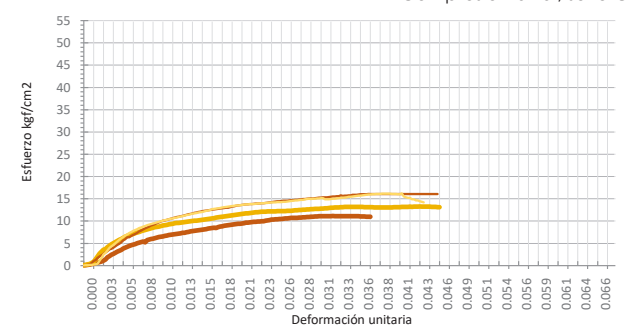
B02 B05 B07 B08

Grf 35. Curva esfuerzo deformación
Compresión axial, serie B



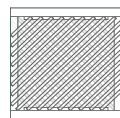
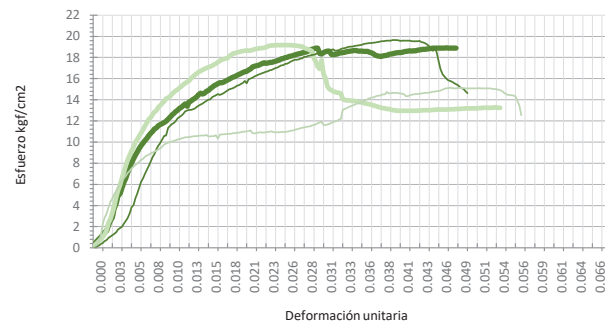
C02 C04 C07 C08

Grf 36. Curva esfuerzo deformación
Compresión axial, serie C



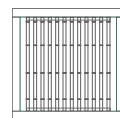
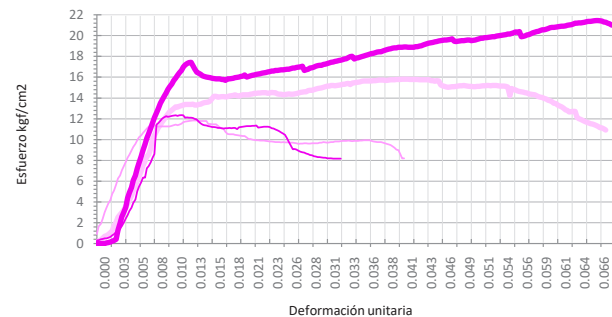
H03 H04 H05 H08

Grf 37. Curva esfuerzo deformación
Compresión axial, serie H



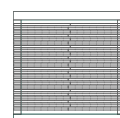
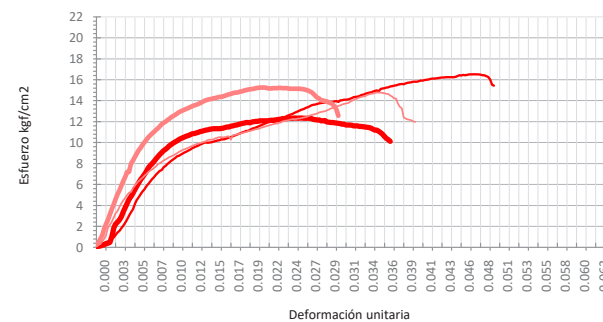
— D01 — D03 — D04 — D07

Grf 38. Curva esfuerzo deformación
Compresión axial, serie D



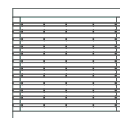
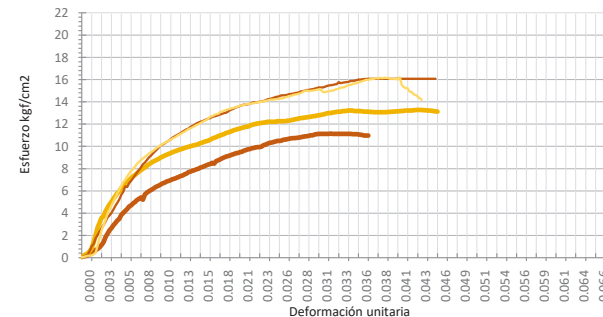
— V01 — V02 — V03 — V05

Grf 39. Curva esfuerzo deformación
Compresión axial, serie V



— X01 — X02 — X07 — X08

Grf 40. Curva esfuerzo deformación
Compresión axial, serie X



— H03 — H04 — H05 — H08

Grf 41. Curva esfuerzo deformación
Compresión axial, serie H

Los especímenes del Tipo D, presentan un comportamiento similar en la gráfica esfuerzo deformación, a excepción del espécimen D07, el cual su esfuerzo máximo es 15% menos que el esfuerzo máximo promedio (Grf. 38).

Los especímenes del Tipo X, presentan un comportamiento similar en la gráfica esfuerzo deformación a excepción del espécimen X02, el cual varía considerablemente tanto en su esfuerzo máximo un 47% más, y su deformación máxima un 12% más que la media de los especímenes (Grf. 40).

Los especímenes del Tipo V, existe gran variación entre ellas, tanto en esfuerzo máximo como en deformación máxima, pero manteniendo un comportamiento similar entre ellas (Grf. 39).

Los especímenes del Tipo H, presentan un comportamiento similar en la gráfica esfuerzo deformación a excepción del espécimen A08 lo que puede ser debido a los problemas mencionados en la (pag 74).

3.1.2 Análisis de fisuras en especímenes

Variable - Geometría de la estructura

Los especímenes del Tipo A, empezaron a deformarse presentando fisuras en el relleno con dirección a las cañas en este caso horizontalmente, a continuación, parte del empañete se desprendía con el relleno, cabe mencionar que en cierto tipo de muros existía la deformación de la solera (Img. 48,5), debido al esfuerzo realizado por los parantes. Finalmente debido a la fractura de uno de los pies derechos el muro fracasa (Img. 48,6).

Los especímenes del Tipo B, empezaron a fisurarse el empañete en dirección horizontal, después existe el desprendimiento del mismo con parte del relleno fuera de las cañas. Finalmente, existe la fractura de un pie derecho (Img. 49,6) para así llegar al fracaso. De igual manera que en el caso anterior, en cierto tipo de muros existe una deformación de la solera superior (Img. 49,5).



Img 48. Grietas y fallas compresión axial, serie A
Propia



Img 49. Grietas y fallas compresión axial, serie B
Propia



Img 50. Grietas y fallas compresión axial, serie C
Propia



Img 51. Grietas y fallas compresión axial, serie H
Propia

Los especímenes del Tipo C, de manera similar a los especímenes tipo A y B se deforma presentando fisuras en el relleno con dirección a las cañas generalmente en la parte superior de los muros, a continuación, parte del empañete se desprendía con el relleno. La solera superior en ciertos muros era comprimida por el pie derecho (Img. 50,6). Finalmente, previo al fracaso del muro se da la fractura de uno de los pies derechos (Img. 50,5).

Los especímenes del Tipo H, de manera similar a los especímenes tipo A, B, C empezaron a fisurarse en el relleno en dirección horizontal misma que la dirección de las cañas, después sufría el desprendimiento del material fuera del muro, correspondientes al empañete y parte del relleno. Finalmente existe la fractura de un pie derecho (Img. 50,5) lo cual provocaba su fracaso. Cabe mencionar que existe cierta deformación de la solera superior en algunos especímenes (Img. 50,6).

Variable - Disposición del carrizo

Los especímenes del Tipo D, al deformarse presentan grietas en dirección diagonal provocadas por el carrizo, esto causa el desprendimiento del empañete en ciertas zonas, seguido, en cierto tipo de muros existía la deformación de la solera (Img. 52,5) a tal punto de fisurar la misma, debido a la compresión provocada por su pie derecho. Finalmente, debido a la fractura de uno de los pies derechos el muro fracasa (Img. 52,6).



Img 52. Grietas y fallas compresión axial, serie D
Propia

Los especímenes del Tipo X, empezaron a fisurarse en varios sentidos generalmente horizontal, seguido existe el desprendimiento del empañete y gran parte del relleno en la zona central del muro (Img. 53,7) lo que se puede deber a que en esa zona no existe caña que sostenga el relleno al estar entrecruzadas. Finalmente, un pie derecho se fractura (Img. 53,6) lo que provoca su fracaso. En ciertos casos existen ojos en la madera que no se pudieron distinguir a simple vista los cuales provocaron la fractura de la misma.



Img 53. Grietas y fallas compresión axial, serie X
Propia



Img 54. Grietas y fallas compresión axial, serie V
Propia

Los especímenes del Tipo V, empezaron a deformarse presentando fisuras en el relleno con dirección a las cañas verticalmente, a continuación, las cañas se pandeaban empujando el relleno del muro, causando que este saliera y se desprendiera del muro (Img. 54,6). Finalmente, uno de los pies derechos se fracturaba a diferencia de los otros muros hacia afuera (Img. 54,5), lo que provocaba el fracaso del mismo.



Img 55. Grietas y fallas compresión axial, serie H
Propia

Los especímenes del Tipo H, al deformarse se fisuraron en ciertas zonas del empañete en dirección horizontal, misma que la dirección de las cañas, después sufría el desprendimiento del material fuera del muro, correspondientes al empañete y parte del relleno. Finalmente existe la fractura de un pie derecho (Img. 55,5) lo cual provocaba su fracaso. Cabe mencionar que existe cierta deformación de la solera superior en algunos especímenes (Img.55,6).

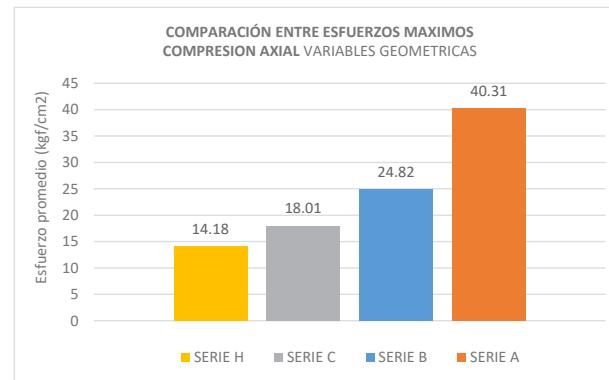
3.1.3 Análisis y comparación de esfuerzo máximo y deformación máxima

Variable – geometría de la estructura

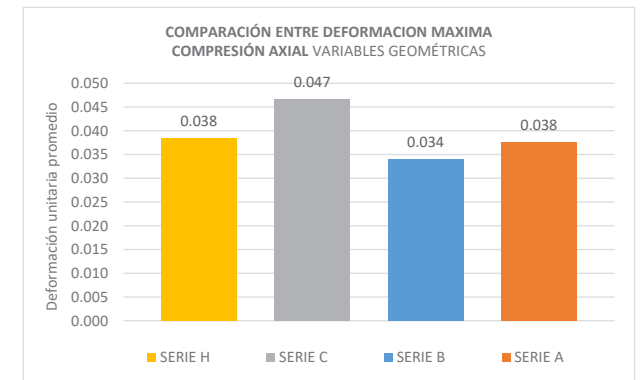
Los resultados obtenidos en los ensayos se resumen en la gráfica 42-43, muestra que los muros de tipo A presentan el mejor comportamiento ante cargas de compresión axial, obteniendo 40,31 kgf/cm² esfuerzo promedio, por otro lado, el muro de tipo H siendo el que menos resistencia presenta con una media de 14,18 kgf/cm².

Por medio de estos resultados se deduce qué, mientras más cerca están sus pies derechos, estos presentan una mayor resistencia ante las cargas aproximadamente una media del 29% más, entre cada tipo de muro, esto se da ya que el área en el que actúa la carga es menor.





De la misma manera al comparar la deformación en cada tipo de muro, podemos notar una variación entre cada tipo de muro, dándonos la mayor deformación el muro tipo C con 4.7% y el que menos se deforma fue el tipo B con el 3.8% de la altura de los prototipos que es de 53 cm.



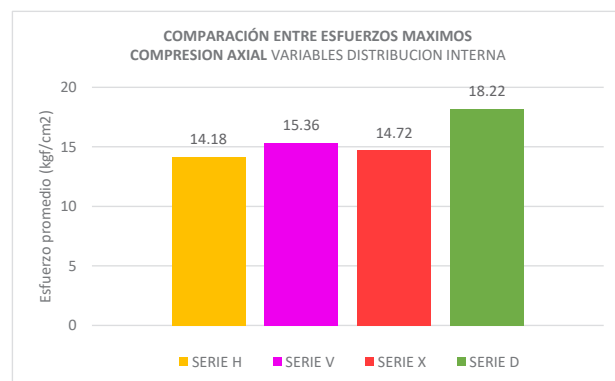
Grf 42. Esfuerzo máximo compresión axial
Variable de la estructura



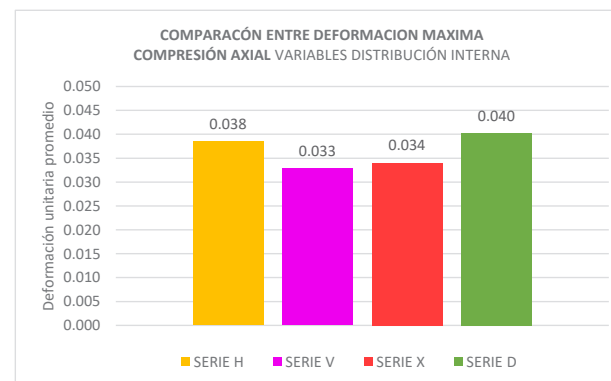
Grf 43. Deformación máxima compresión axial
Variable de la estructura

TABLA RESUMEN - COMPRESIÓN AXIAL											
Muro	Medidas		Espesor cm	Peso kgf	Área de carga cm2	Carga kgf	Esfuerzo kgf/cm2	def. unitaria u	E kgf/cm2		
	x(cm)	y(cm)									
Serie A	22.93	53.58	5.00	6.40	114.63	4624	40.31	0.038	5.65		
Serie B	32.88	53.65	5.00	9.98	164.38	4081	24.82	0.034	4.67		
Serie C	42.45	53.60	5.05	12.80	214.37	3858	18.01	0.047	2.98		
Serie H	53.00	53.35	5.28	17.18	279.58	3955	14.18	0.038	2.28		

Tab 05. Resumen de resultados compresión axial
Variable de la estructura



Grf 44. Esfuerzo máximo compresión axial
Variable del carrizo



Grf 45. Deformación máxima compresión axial
Variable del carrizo

Variable - distribución del carrizo

Los resultados obtenidos en la gráfica 44-45, se puede observar que los muros tipo H, V, X, mantienen un valor similar en su esfuerzo aproximadamente de 14,5 kgf/cm² los cuales varían en un rango del 3% a un 7%, mientras que el muro tipo D muestra una considerable diferencia dándonos una resistencia de 18.22 kgf/cm² un 23% más del promedio que resisten los otros tipos de muro.

De la misma manera al comparar la deformación en cada tipo de muro, podemos notar una variación entre cada tipo de muro, dándonos la mayor deformación los muro tipo H y D con un promedio de 3.8 y 4% respectivamente de deformación en su altura, y con una deformación menor los muros de tipo V y X con un promedio de 3.3 y 3.4% respectivamente de su altura.

TABLA RESUMEN - COMPRESIÓN AXIAL									
Muro	Medidas		Espesor cm	Peso kgf	Área de carga cm²	Carga kgf	Esfuerzo kgf/cm²	def. unitaria u	E kgf/cm²
	x(cm)	y(cm)							
Serie D	52.78	53.43	5.05	15.70	266.52	4858	18.22	0.040	3.34
Serie V	53.00	53.60	5.00	14.90	265.00	4070	15.36	0.033	3.45
Serie X	53.00	53.68	5.40	16.45	286.20	4220	14.72	0.034	2.38
Serie H	53.00	53.35	5.28	17.18	279.58	3955	14.18	0.038	2.28

Tab 06. Resumen de resultados compresión axial
Variable del carrizo

3.2 RESULTADOS EN PRUEBAS DE COMPRESIÓN DIAGONAL

Para las pruebas a compresión diagonal, llamadas también tracción indirecta, fueron realizados los especímenes con las mismas características y composición que las ensayadas a compresión axial, similares a estas se adoptó la misma norma peruana E-80 basándonos en los ensayos para muretes de adobe y tapial, adaptándolo al sistema de bahareque puesto que este sistema carece de normas para ensayar muretes, además que se adaptó la fórmula de esfuerzo para muretes no cuadrados.

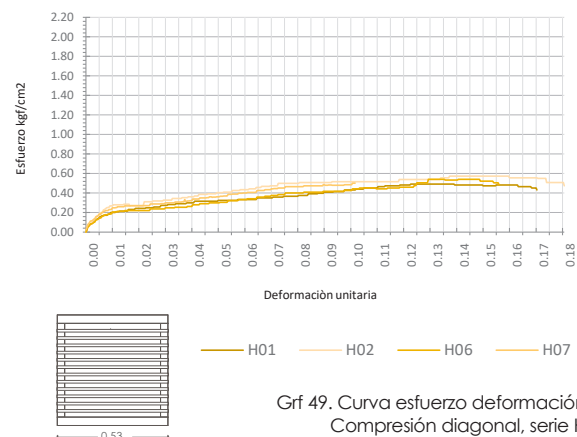
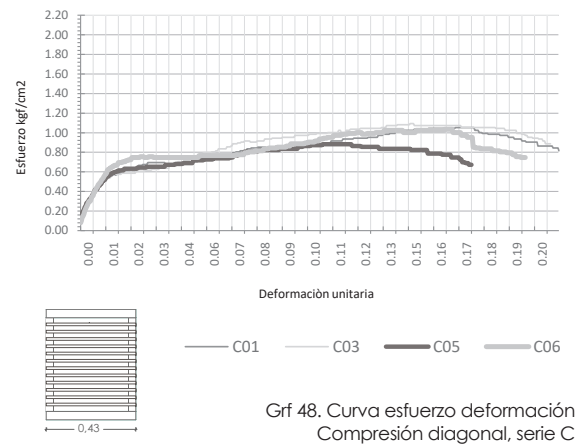
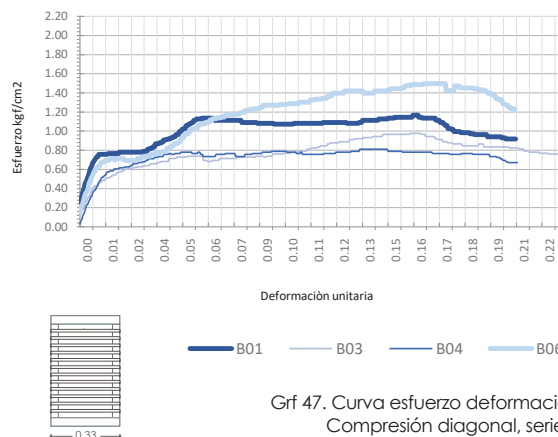
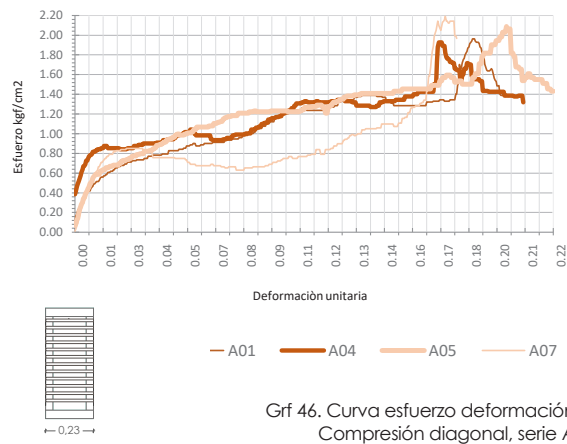
3.2.1 Análisis de gráficas esfuerzo deformación

Para la gráfica de esfuerzo deformación se tomó datos cada 0.01 pulgadas lo que representan 10 marcas del reloj comparador, pues la deformación era considerable, con esto se llegó a obtener un número promedio de 420 datos, esto varía mucho dependiendo al tipo de espécimen ensayado.

En los ensayos de compresión diagonal se observó que muchos de los tipos de muros mantiene una misma forma en sus 4 especímenes, como se indica en las gráficas 46-53, simplemente varía en la escala de esfuerzo y deformación, todas estas se deben al estar conformada por materiales no isotrópicos, como la madera, la cual mostró defectos como nudos, los cuales se trataron de evitar en la construcción, pero al presentarse internamente no pudieron ser previstos, pero al no recibir la carga directamente sobre los parantes la diferencia de esfuerzos no es tan notoria.

La gráfica demuestra una semejanza, el 10% de la deformación hasta alcanzar la carga máxima, el crecimiento de la carga es acelerado pero que al pasar de este la deformación es la que mayormente cambia con un leve aumento de la carga demostrando la ductilidad del sistema, esto varía mucho dependiendo al tipo de espécimen.





Variable - Geometría de la estructura

La curva de los especímenes de variable geométrica presentan un comportamiento diferente en cada espécimen, pero mantiene la característica de que el módulo de elasticidad inicial que se encuentra entre el 5 y el 15% de la deformación máxima, tenga un patrón similar, pero al pasar de este punto cada uno tiene una curva variada, cabe destacar que la mayor parte de la carga se desarrolla en este lapso antes mencionado.

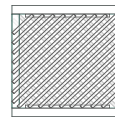
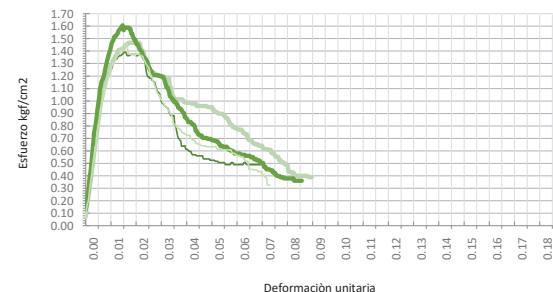
Los especímenes del Tipo H presentan una misma forma de la gráfica esfuerzo deformación, se observó que gran parte de la carga se da en el 5% inicial de la deformación máxima y posterior deformación con aumentos de carga menos pronunciados (Grf. 49).

Los especímenes del Tipo C tuvieron un comportamiento similar a diferencia de espécimen C05 el cual alcanzo apenas el

83% del esfuerzo promedio máximo con respecto a los otros 3 especímenes, la mayor parte de esfuerzo máximo se da en el 15% inicial de la deformación máxima (Grf. 48).

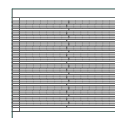
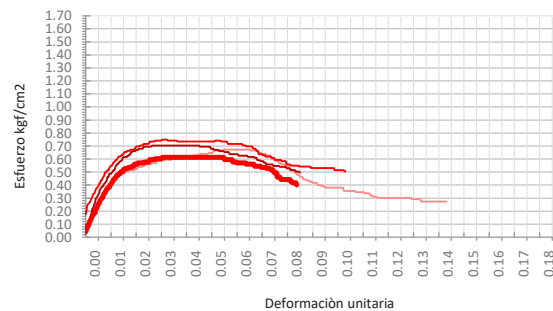
Los especímenes del Tipo B tuvieron variaciones notorias unos de otros llegando a tener cargas máximas deferentes como el espécimen B04 que llega a ser el 54% de la carga máxima de espécimen B06, la mayoría de la carga se genera aproximadamente en el 4% inicial de la deformación máxima (Grf. 47).

Los especímenes de Tipo A tuvieron una misma forma de la curva de esfuerzo deformación, simplemente el espécimen A07 tuvo un decrecimiento de la carga después de deformarse aproximadamente el 10% de la deformación máxima, estos especímenes tuvieron la característica de que para llegar a su carga máxima tuvo un pico bastante pronunciado (Grf. 46).



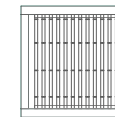
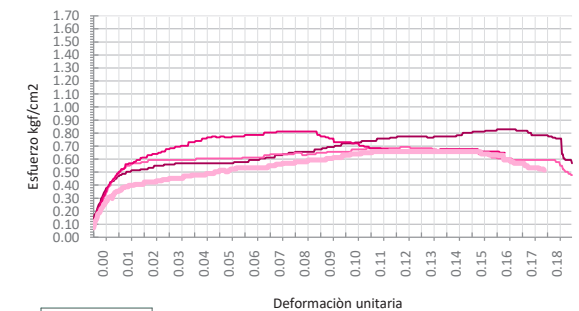
— D05 — D06 — D08 — D02

Grf 50. Curva esfuerzo deformación
Compresión diagonal, serie D



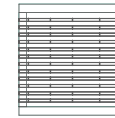
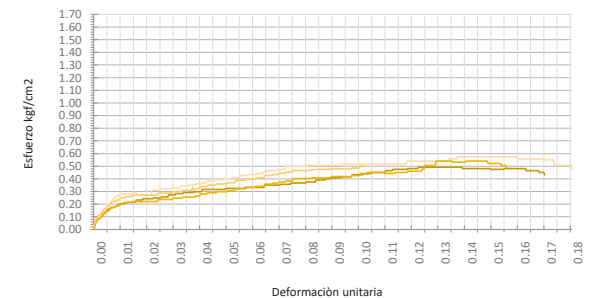
— X03 — X04 — X05 — X06

Grf 51. Curva esfuerzo deformación
Compresión diagonal, serie X



— V04 — V07 — V06 — V08

Grf 52. Curva esfuerzo deformación
Compresión diagonal, serie V



— H01 — H02 — H06 — H07

Grf 53. Curva esfuerzo deformación
Compresión diagonal, serie H



Variable - Disposición del carrizo

La curva de los especímenes de variable en la disposición de la caña, demuestran claramente que la deformación y el módulo de elasticidad que sufre cada tipo de espécimen hasta llegar al esfuerzo máximo, determina la forma de la curva, los especímenes D y X en los cuales el módulo de elasticidad no presenta mucho cambio muestran poca deformación, mientras que la curva de los especímenes H y V el módulo de elasticidad es muy variado antes de llegar al esfuerzo máximo, los cuales tienen una alta deformación con respecto a D y X.

Los especímenes del Tipo H presentan una misma forma de la gráfica esfuerzo deformación, se observó que gran parte de la carga se da en el 5% inicial de la deformación máxima y posterior deformación con aumentos de carga menos pronunciados (Grf. 53).

Los especímenes de Tipo D tuvieron una misma forma de la gráfica esfuerzo deformación, en estos la pendiente de la curva hasta llegar a la carga máxima varía muy poco, estos especímenes tuvieron poca deformación hasta llegar a la carga máxima (Grf. 50).

Los especímenes de Tipo X tuvieron una misma forma de la gráfica esfuerzo deformación, la particularidad de la curva fue que al llegar a la carga máxima la deformación continúa aumentando sin que la carga cambie (Grf. 51).

Los especímenes de Tipo V tuvieron una misma forma con excepción del espécimen V06 el cual llegó a la carga máxima después de haberse deformado el 62.6% de la deformación máxima promedio, visualmente se observó que el mayor crecimiento de la carga se da aproximadamente al 8.8% de la deformación máxima (Grf. 52).

3.2.2 Análisis de fisuramiento en ensayos de compresión diagonal

Variable - Geometría de la estructura

El espécimen Tipo A comenzó a deformarse presentando fisuras en el relleno con dirección a las cañas en este caso horizontalmente, a continuación parte del empañete se desprendía con el relleno fuera del nivel de las cañas, una vez deformada la estructura, se despegaba la solera y los parantes (Img. 56,3), finalmente el tarugo fracasaba (Img. 56,5), en este momento se observaba el incremento de carga.

El espécimen Tipo B empezó a fisurarse en el relleno en dirección horizontal misma que la dirección de las cañas, después sufría el desprendimiento del material fuera de las cañas correspondientes al empañete y parte del relleno, a continuación los parantes se desprendían de la solera (Img. 57,3) después de que la unión y el tarugo fracasaran (Img. 57,5).



Img 56. Grietas y fallas compresión diagonal, serie A
Propia



Img 57. Grietas y fallas compresión diagonal, serie B
Propia



Img 58. Grietas y fallas compresión diagonal, serie C
Propia

El espécimen Tipo C empezó con el fisuramiento en el relleno en dirección horizontal, misma dirección de la caña, después de deformarse el marco, parte del material fuera de la caña se desprendió (Img. 58,4), en este espécimen parte de la sección de la solera se desprendió en el lugar donde está la unión con el parante, finalmente el tarugo fracasó con la unión (Img. 58,6).



Img 59. Grietas y fallas compresión diagonal, serie H
Propia

El espécimen Tipo H comenzó a mostrar fisuras horizontalmente en dirección a las cañas, una vez deformado el marco se produjo un desprendimiento del material de relleno con el empañete el cual se encontraba fuera de la caña, a continuación el tarugo producía que parte de la sección de la solera se desprendiese y en otros casos el tarugo simplemente fracasaba con la unión (Img. 59,5).

Variable - Disposición del carrizo

El espécimen Tipo D comenzó a fisurarse en el sentido de las cañas diagonales que se encontraban comprimiendo, puesto que las de la otra cara se encontraba en dirección de la diagonal opuesta, esta se traccionaban, a continuación las cañas a compresión se pandeaban, mientras que las de tracción simplemente se despegaban de la unión, esto producía que toda la masa del relleno con las cañas se hincharse en dirección de la cara a compresión (Img. 60,5), en este caso el tarugo y la unión no fracasaron, pues la reducción de esfuerzo no permitió llegar a este punto.

El espécimen Tipo X presentó fisuras con direcciones variables, seguía la dirección de la caña, después de deformarse el marco, gran parte del relleno de la parte media se desprendió, finalmente la unión entre la solera y los parantes se despegan, esta no llega a fracasar ni a romperse por la reducción de esfuerzo (Img. 61,5).



Img 60. Grietas y fallas compresión diagonal, serie D
Propia

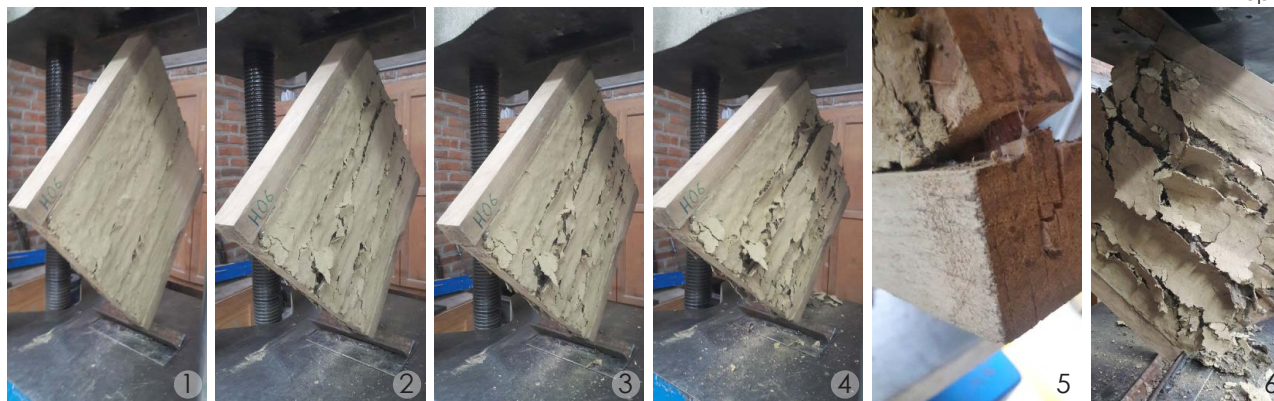


Img 61. Grietas y fallas compresión diagonal, serie X
Propia



Img 62. Grietas y fallas compresión diagonal, serie V
Propia

El espécimen Tipo V inició con fisuras en dirección vertical misma que la caña, posterior a esto existió un desprendimiento del material de relleno y empañete que se encontraba fuera de la caña (Img. 62,4), a su vez algunas de las cañas se despegaron de la parte superior del muro, finalmente la unión con el tarugo fracasó (Img. 62,5).



Img 63. Grietas y fallas compresión diagonal, serie H
Propia

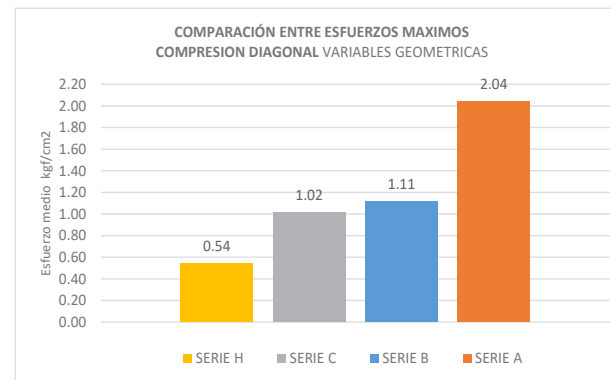
El espécimen Tipo H comenzó a mostrar fisuras horizontalmente en dirección a las cañas, una vez deformado el marco se produjo un desprendimiento del material de relleno con el empañete el cual se encontraba fuera de la caña, a continuación el tarugo producía que parte de la sección de la solera se desprendiese y en otros casos el tarugo simplemente fracasaba con la unión (Img. 63,6).

3.2.3 Análisis y comparación de resultados

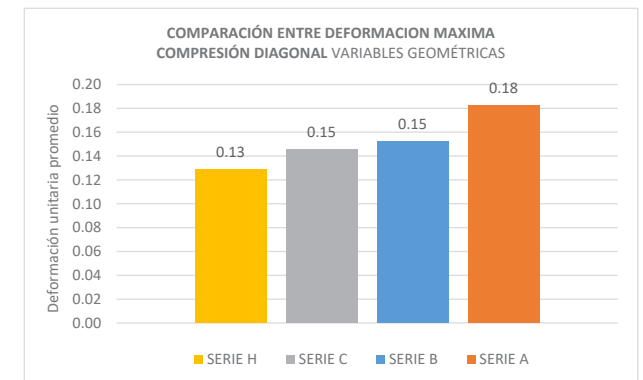
Variable - Geometría de la estructura

Entre los especímenes de variable geométrica el que tuvo mayor resistencia, fue el de tipo A el cual llegó a resistir un esfuerzo promedio de 2.04 kgf/cm², mientras que el que menos resistió fue el espécimen tipo H con un esfuerzo promedio máximo de 0.54 kgf/cm², el espécimen B tiene un esfuerzo del 45.5% menos que el espécimen A, mientras que el espécimen H tiene un esfuerzo del 46.3% menos que el espécimen C, el espécimen B tiene un crecimiento de 9.7% del esfuerzo máximo con respecto al C.

En cuanto a su deformación antes de llegar al esfuerzo máximo se observa que es proporcional pero opuesta a la medida de la diagonal, es decir los especímenes tipo H que tiene la mayor diagonal llegan a deformarse 13%, mientras que la tipo A que presenta la menor diagonal se deforma un 18%.



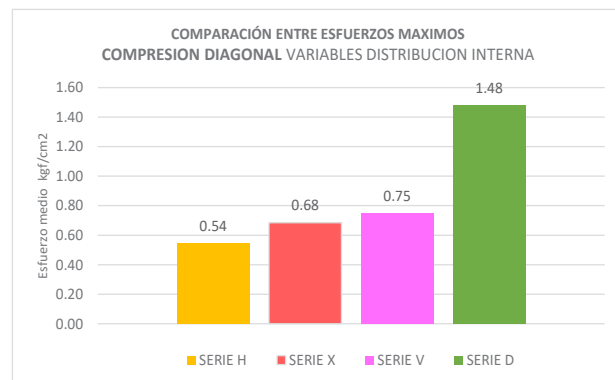
Grf 54. Esfuerzo máximo compresión diagonal, Variable de la estructura



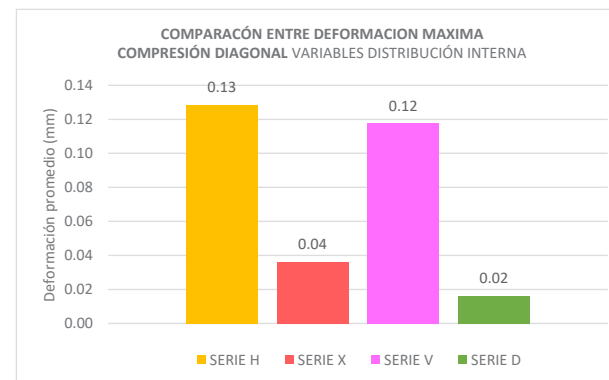
Grf 55. Deformación máxima compresión diagonal Variable de la estructura

Muro	Medidas		Espesor cm	Peso kgf	Área de carga cm ²	Carga kgf	Esfuerzo kgf/cm ²	def. inicial u	E kgf/cm ²	<div> <div>Serie H</div> <div>Serie B</div> <div>Serie C</div> <div>Serie A</div> </div>
	x(cm)	y(cm)								
Serie A	22.65	53.58	5.00	6.50	290.83	594	2.04	0.182	0.07	
Serie B	32.75	53.55	5.00	9.63	313.86	349	1.11	0.153	0.07	
Serie C	42.45	53.58	5.05	13.00	345.18	350	1.02	0.145	0.06	
Serie H	53.05	53.68	5.30	16.45	399.98	217	0.54	0.129	0.03	

Tab 07. Resumen de resultados compresión diagonal Variable de la estructura



Grf 56. Esfuerzo máximo compresión diagonal, Variable del carrizo



Grf 57. Deformación máxima compresión diagonal, Variable del carrizo

Variable - Disposición del carrizo

Entre los especímenes de variable en disposición de elementos existió gran diferencia entre un tipo y otro, el espécimen D fue el que mayor resistencia al esfuerzo diagonal presentó llegando a resistir 1.48 kgf/cm², seguido de los especímenes tipo V los cuales tuvieron una resistencia de 0.75 kgf/cm², los especímenes de tipo X tuvieron una resistencia de 0.68 kgf/cm², finalmente el que menor resistencia tuvo fue el espécimen H llegando a un esfuerzo máximo de 0.54 kgf/cm².

En cuanto a la deformación que sufrieron antes de llegar a al esfuerzo máximo el espécimen que menos se deformó fue el D, con solo el 12.4% con respecto al H, el espécimen X por su parte se deformato 27.5% de lo que el espécimen H se deformato y finalmente el espécimen V fue el que tuvo una deformación del 89.6% con respecto al espécimen H.

TABLA RESUMEN - COMPRESIÓN DIAGONAL									
Muro	Medidas		Espesor cm	Peso kgf	Área de carga cm²	Carga kgf	Esfuerzo kgf/cm²	def. unitaria u	E kgf/cm²
	x(cm)	y(cm)							
Serie D	52.78	53.55	5.00	15.55	375.93	557	1.48	0.016	0.17
Serie V	53.05	53.65	5.00	14.85	377.25	282.25	0.75	0.118	0.04
Serie X	53.00	53.33	5.20	16.36	390.96	267.50	0.68	0.036	0.05
Serie H	53.05	53.68	5.30	16.45	399.98	217	0.54	0.129	0.03

Tab 08. Resumen de resultados compresión diagonal, Variable del carrizo



3.3 METODOLOGÍA PARA LA VALORACIÓN DE RESULTADOS

Después de haber experimentado con cada tipo de variable propuesta para esta investigación, podemos considerar diversos factores que ayudarán a comprender como la variación del sistema constructivo de bahareque, incide en cada aspecto ya sea este, constructivo, resistencia mecánica y uso de recursos.

Se propone un sistema de valoración en el cual se tomará como referencia el mejor resultado de los especímenes ya estudiados, de las diferentes variables de muros propuestos para cada grupo de estudio, estos se calificarán en rango del 1 al 10, lo que determinará las ventajas y desventajas de los muros, según el valor que se obtenga, para ello se seleccionó las características previamente analizadas, lo que nos permitan evaluar de manera objetiva los diferentes tipos de muros propuestos eligiendo 7 características que influyen en la decisión cuando se desea elegir un tipo de muro.

Resistencia axial y diagonal: se valoró el espécimen que presentó la mayor resistencia, al cual se asignó la calificación de 10 y respecto a este se asignó una calificación proporcional a los otros especímenes.

Deformación axial y diagonal: de igual manera se tomó el espécimen que mayor deformación tuvo a la cual se asignó la valoración de 10 y se asignó una calificación porcentual a los otros especímenes.

Construcción: se asignó la mayor calificación de 10 al espécimen que presentaba la menor dificultad al momento de la fabricación, esto no quiere decir que la elaboración fuese sencilla.

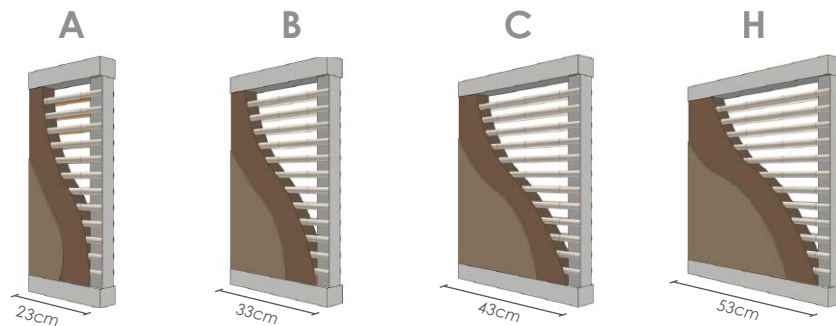
Peso: se califica como 10 al espécimen con menor peso por longitud y se asignó una calificación porcentual a los demás.

Material utilizado: se calificó como la mayor puntaje de 10 al espécimen que menor material utilizó con respecto a cantidad de madera, caña tierra y demás por longitud de muro, esta característica va ligada al costo.

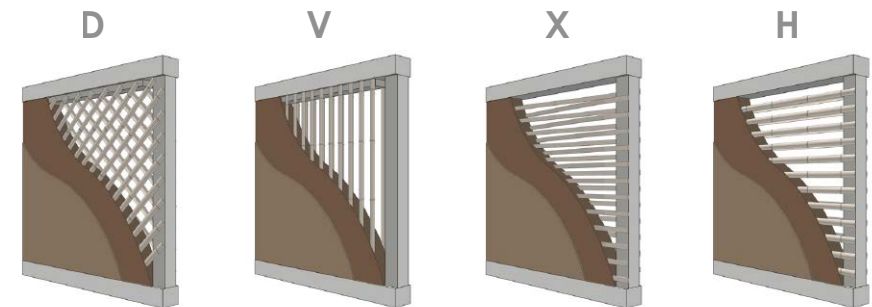




		resistencia axial	deformación axial	resistencia Diagonal	deformación Diagonal	construcción	peso	material utilizado
GEOMETRÍA	Serie A	10	8	10	10	10	10	4
	Serie B	6	7	5	8	8	10	6
	Serie C	4	10	5	8	7	10	8
	Serie H	4	8	3	7	6	9	10
DISTRIBUCIÓN	Serie D	10	10	10	1	7	9	10
	Serie V	8	8	5	9	9	10	10
	Serie X	8	8	5	3	7	10	10
	Serie H	8	10	4	10	10	9	10



VARIABLE - GEOMETRÍA DE LA ESTRUCTURA



VARIABLE - DISTRIBUCIÓN CARRIZO

Grf 58. Análisis comparativo de resultados en muros de bahareque a escala Propia

3.4 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

3.4.1 Conclusiones

Variable - Geometría de la estructura

En este grupo de variables se puede observar que el muro notablemente superior en casi todas sus características es el muro de la serie A, el cual la desventaja fue el material utilizado para su construcción. Lo que se puede justificar por la mejora en características como la resistencia tanto en compresión normal y diagonal, además de su mayor facilidad constructiva.

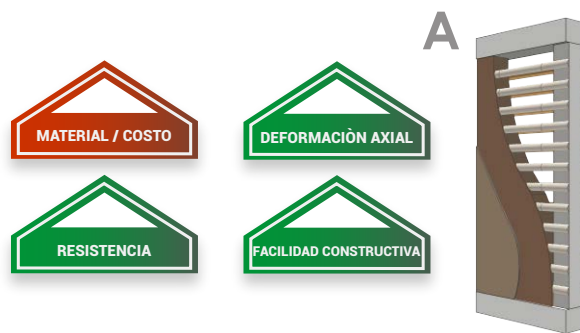
Al ser la variable la distancia entre parantes, se observa que el valor de esta medida es inversamente proporcional a su resistencia a compresión axial, diagonal y la dificultad en la construcción del muro. De forma contraria es proporcional a la cantidad de material utilizado.

De la misma manera podemos observar que ciertas características no varían como es el caso de su deformación y se mantienen aproximadamente similares.

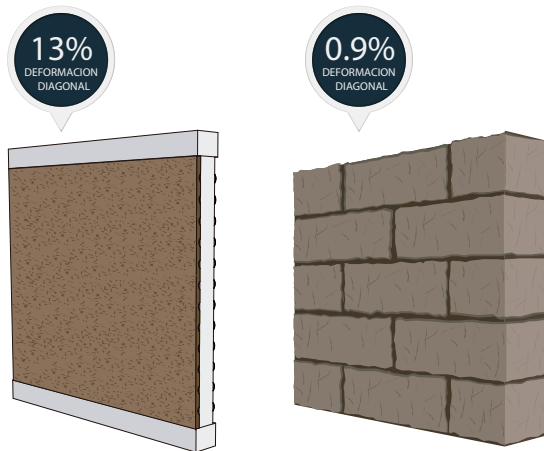
En conclusión el mejor muro en caso de requerirse mejores capacidades en resistencia a compresión axial y diagonal es el muro de Serie A, pero conlleva una ligera elevación en su costo.

Para otros casos dependerá de la situación para los cuales son requeridos el muro la selección del mismo, ya que para la mejora de ciertas características se requiere la pérdida de otras características, resistencia vs el costo, aunque mantenido una característica común entre ellos que es su deformación tanto en compresión diagonal como axial.





Grf 59. Muro que presenta mejores resultados geométricamente
Propia



Grf 60. Comparación de ductilidad con respecto al adobe
Propia

Variable - Disposición del carrizo

En este grupo de variables se puede observar que se mantiene cierta equidad en los resultados totales de la valoración en los muros de bahareque, esto se debe que cada muro tiene un gran desempeño en ciertas características y en otras no.

De la misma manera podemos observar que ciertas características no varían, como es el caso de su peso, el material utilizado en su construcción y la dificultad al ser elaborados, a excepción de la serie H que tiene un proceso más sencillo de construcción.

Los muros de la serie D y X tienen una deformación muy por debajo que los de la serie D y H, pero a cambio de ello en el caso de la serie D tiene un aumento considerable en la carga de ruptura.

En cuanto a sus capacidades de resistencia y deformación axial, todos tienen un valor similar sin que alguno tipo de muro sobresalga notablemente.

En conclusión, se puede observar que cada tipo de muro presenta mejores características que otros, pero no todas al mismo tiempo, por lo cual dependerá del tipo de trabajo a realizarse para inclinarse por alguna selección de las variantes de bahareque.

Una cierta característica en común que presentan los muros ensayados es la capacidad de deformación diagonal, alcanzando una media del 13%, que a comparación de otros sistemas como el de adobe que presenta una media del 0,9% (Aguilar, Quesada. 2017.) es muy superior, otorgándole un mejor comportamiento sismo-resistente que otros sistemas de construcción en tierra, pues la capacidad de deformación está ligado a la sismo-resistencia.



3.4.2 Recomendaciones para prototipo a escala

A lo largo de esta investigación se pudo identificar varios aspectos que se deberían tomar en cuenta al momento de proponer y desarrollar estudios vasados en prototipos a escala de sistemas constructivos, para tratar de evitar fallos o malas decisiones que repercutirán a la larga, en malos resultados, tiempos sobre extendidos para investigación y otros.

3.4.2.1 Ámbito constructivo

Para la construcción debemos tomar en cuenta que el sistema que vayamos a desarrollar pueda ser reducido a una escala, en la que las uniones y configuraciones sean lo más similares a las reales, a su vez se debe tomar en cuenta que los prototipos deben ser en lo posible lo más similares entre si, para obtener resultados favorables.

3.4.2.2 Selección de materiales

Para la elección de los materiales dependiendo a la investigación que se realice, se buscara que sean los mismos utilizados en el sistema a escala normal, dichos materiales deberían ser analizados puesto que existe materiales los cuales no pueden ser reducidos a escala, como por ejemplo el carrizo o materiales industriales que por nuestros propios medios, no podrán ser reducidos.

3.4.2.2 Configuración prototipo para laboratorio

Antes de proponer los prototipos se debe analizar los equipos y máquinas disponibles para nuestra investigación, puesto que nos debemos acoplar a las medidas que estas nos permiten desarrollar, otra decisión importante es el número de prototipos que serán propuestos ya que las normas imponen cierto número para que estas sean válidas.



Img 64. Muro de bahareque, Nulti, Cuenca
Propia



Img 65. Muro de bahareque a escala
Propia



Img 66. Muro de bahareque a escala con y sin relleno
Propia



Img 67. Empañete de muro de bahareque a escala
Propia

3.4.3 Lineamientos para la construcción de muros de bahareque a escala

Para la construcción de muros en bahareque a escala, se debe tener clara muchos puntos, los cuales llevaran a una investigación más sólida y sin muchas variables que afecten los resultados, para esto pondremos puntos y decisiones a tomar en cuenta.

- La construcción de los muros en bahareque están compuestos por diversos materiales, los cuales deben ser analizados uno a uno previamente antes de ser usados en la construcción.

- Estimar el tiempo en el que se realizara pues para que los resultados puedan ser confiables según la norma E.080 debe realizarse 6 especímenes de los cuales se tomaran los 4 mejores.

- Asegurar que la escala en la que se configuro los muros se encuentre dentro de las medidas que pueden ser probadas en el laboratorio pues los equipos y maquinas imponen limitantes.

- La tierra que será utilizada para el relleno de los muros debe ser más arenosa que arcillosa ya que la arcilla tiene contraerse al momento del secado, produciendo grietas, de la misma manera dentro de este punto se recomienda que la mezcla tenga el agua suficiente para que sea plástica, pues el exceso de igual manera ocasiona el agrietamiento.

- El empañete debe ser preparado con material de tierra arcillosa y debe estar mezclado con guano en iguales cantidades, se recomienda que el guano este lo más fresco posible pues al secarse, pierde la característica de fibras que es lo que evita las micro fisuras (Img. 67).

- Para la composición de la estructura principal de madera se recomienda la fabricación en serio de cada elemento sea este solera, parante o unión de dichos elementos, puesto que nos facilitara la construcción y asegurara la similitud entre especímenes, también se debe asegurar que la madera no tenga defectos como grietas o nudos, los cuales reducirán mucho la resistencia de la madera, lo que derivara en malos resultados (Img. 68-69).

- Proponer uniones en los elementos que pueda simular lo más cercano posible a la técnica aplicada a escala real (Img. 70).

- Considerar que la etapa de secado debe realizarse en un ambiente cubierto del sol y de la lluvia, pero a la vez ventilado, el tiempo de secado del relleno dura alrededor de 3 a 4 semanas y la del empañete de 1 a 2 semanas (Img. 71).



Img 68. Producción de elementos estructurales en serie
Propia



Img 69. Producción de muro de bahareque a escala en serie
Propia



Img 70. Unión d elementos por tarugos simulando caja espiga
Propia



Img 71. Procesos de secado de muros en bahareque a escala
Propia



Img 72. Muro de bahareque a escala
Propia

3.4.4 Líneas a investigar

- Analizar bahareque tradicional a escala con diferentes tipos de relleno.
- Estudio de variables al entramado de muros en bahareque, por otros materiales diferentes al carrizo.
- Analizar el tipo de tierra adecuado para rellenar muros en bahareque.
- Mejoramiento del empañete para contrarrestar el daño sufrido por agentes atmosféricos.
- Analizar tipos de uniones entre elementos estructurales de bahareque.
- Analizar como el contenido de humedad de la mezcla del relleno afecta al agrietamiento en muros de bahareque.

- Estudiar las propiedades mecánicas de muros en bahareque con más un 2 parantes por muro.
- Estudiar como la presencia de diagonales influye en la capacidad de carga en el bahareque.
- Comparar la relación entre peso y capacidad portante de los diferentes tipos de construcción en tierra.
- Analizar como el aumento del entramado (cantidad de carrizo) influye en la capacidad portante del bahareque tradicional.





BIBLIOGRAFIA



Bibliografía

- Aguilar, E., y Quezada, R. (2017). Caracterización física y mecánica del adobe en el cantón de Cuenca. Cuenca, Ecuador. (Tesis de grado). Universidad de Cuenca.
- Arriola, Viviana; Urbano, Tejada. CIDAP. 2008. Pg. 4
- Astudillo, J., y Vacacela, N. (2015). Propuesta de paneles estructurales modulares de bahareque prefabricado de madera. Cuenca, Ecuador: Universidad de Cuenca
- Bardou, P. Arzoumanian, V. (1981). Arquitecturas de adobe. Barcelona. Gustavo Gili.
- Broto, Charles (2006). Enciclopedia Broto de Construcción. Patología de los materiales de Construcción. Barcelona, España: Estructure.
- Bestraten, S., Hormías, E., y Altemir, A. (2011). Construcción con tierra en el siglo XXI. Barcelona, España. Informes de la Construcción Vol. 63, 523, 5-20.
- Cárdenas, A., y Sarmiento, J. (2017). El tapial alivianado. Cuenca, Ecuador. (Tesis de grado). Universidad de Cuenca.
- Cuitiño, G. Esteves, A. Maldonado, y G. Rotondaro, R.(2015). Análisis de la transmitancia térmica y resistencia al impacto de los muros de quincha. CSIC, 67(537).
- Díaz, A. (1984). Sistema constructivo quincha prefabricada. CSIC, 36(361), 124-33.
- Espinoza, F., Maldonado, A., y Mejía, P. (2015) Caracterización constructiva de elementos estructurales en el bahareque: fibras, amarres y ataduras como representación cultural del Azuay. Cuenca, Ecuador: Universidad de Cuenca
- Gatti, F. (2012). Arquitectura y construcción en tierra, estudio comparativo de las técnicas contemporáneas en tierra. Cuenca, Ecuador. (Tesis de postgrado). Universidad de Cuenca.
- Guerrero, F. (2007). Arquitectura en tierra. Hacia la recuperación de una cultura constructiva. Apuntes, 20(2), 182-201.
- Guzmán, D., y Vazquez, W. (2015). Estudio de una propuesta de mejoramiento del sistema constructivo adobe. Cuenca, Ecuador: (Tesis de grado) Universidad de Cuenca.
- Henneber, A. (2012). Aproximación a un estudio sobre las lesiones del bahareque en el estado Zulia, Venezuela. Algunas recomendaciones para su intervención. Maracaibo, Venezuela: Informes de la Construcción. Vol. 64, 525, 63-74.
- Henneberg, A. (2008). Rehabilitación de muros de bahareque en el estado Zulia. Casos de estudio: capilla San Antonio y casa natal de Rafael Urdaneta. Maracaibo, Venezuela: Universidad de Zulia
- Lasheras, Félix: Patología de la madera. En Departamento de Construcción. Universidad Politécnica de Madrid (eds.), Tratado de Rehabilitación Tomo 3: Patología y técnicas de intervención. Elementos estructurales. (pp. 255-276). Madrid, España.
- Maldonado, A. (2017). Estrategias para la conservación de la Cultura constructiva de bahareque en la ciudad de cuenca, provincia del Azuay (Tesis de postgrado, maestría). Universidad de Cuenca, Cuenca.
- Minke, G., (2008), Manual de Construcción con Tierra – La tierra como material de construcción y su aplicación en la arquitectura actual, Montevideo, Uruguay, Editorial Fin de Siglo.



- Muñoz, M., Sainz, A. (2011) Construcción con tierra, tecnología y arquitectura. Congresos de arquitectura de tierra en Cuenca de Campos.
- NEC. (2014). Viviendas de hasta 2 pisos con luces de hasta 5m. Recuperado el 5 de septiembre del 2017 de <http://www.habitatyvivienda.gob.ec/documentos-normativos-nec-norma-ecuatoriana-de-la-construccion/>
- Norma Técnica de Edificación NTE E.080. Diseño y construcción con tierra reforzada. Ministerio de vivienda, construcción y saneamiento, Perú, 2017. Recuperado el 8 de septiembre del 2018 de <https://www.udocz.com/read/norma-e-080-diseno-y-contruccion-con-tierra-reforzada-actualizada-pdf>
- NTE INEN 688. Mecánica de suelos. Preparación de muestras alteradas para ensayos. Instituto ecuatoriano de normalización, Ecuador, 1982. Recuperado el 20 de septiembre del 2017 de <https://archive.org/stream/ec.nte.0688.1982#page/n0/mode/1up>
- NTE INEN 862. Áridos para hormigón. Determinación del contenido total de humedad. Instituto ecuatoriano de normalización, Quito, Ecuador, 2011. Recuperado el 20 de septiembre del 2017 de <http://normaspdf.inen.gob.ec/pdf/nte/862.pdf>
- NTE INEN 696. Áridos: Análisis granulométrico en los áridos, finos y gruesos. Instituto ecuatoriano de normalización, Quito, Ecuador, 2011. Recuperado el 20 de septiembre del 2016 de <http://normaspdf.inen.gob.ec/pdf/nte/696-1.pdf>
- NTE INEN 3129 Maderas - métodos de muestreo y requisitos generales para ensayos físicos y mecánicos de especímenes de madera clara. Instituto ecuatoriano de normalización, Quito, Ecuador, 2013
- Perea, Y. (2012). Sistemas constructivos y estructurales aplicados al desarrollo habitacional (Tesis de grado, especialista en gerencia de la construcción). Universidad de Medellín, Medellín, Colombia.
- Pineda, C. (2017). Características y patologías constructivas del bahareque tradicional en la vereda san pedro del municipio de Anserma (Tesis de postgrado, maestría). Universidad Nacional de Colombia, Medellín.
- Pinos, J., y Baculima, A. (2015). Recuperación del sistema constructivo en la técnica del bahareque en la contemporaneidad. Cuenca, Ecuador: (Tesis de grado). Universidad de Cuenca.
- Rodríguez, L. (2009). Como construir viviendas de quincha mejorada, Lima Perú, Soluciones Prácticas-ITDG.
- Vázquez, M. (2001). Construcción e impacto sobre el ambiente: el caso de la tierra y otros materiales. Madrid, España. Instituto Juan de Herrera.
- Venegas, L. (2010). Comportamiento estructural a escala reducida de muros esbeltos de mampostería confinada e integral. Costa Rica. (tesis de Pregrado Ingeniería civil). Universidad de Costa Rica.
- Yuste, B. (2016). Arquitectura de tierra caracterización de los tipos edificatorios (Tesis de pregrado, máster arquitectura energía y medio ambiente). Universidad Politécnica de Cataluña, Cataluña, España.

INTRODUCCIÓN

El siguiente anexo contiene la descripción de las características de cada herramienta y equipo utilizados en el proceso de pruebas.